

Doku

Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95'

Rapport 21
2009

13ème partie

Edition 2009

Bruno Vogel
Michael Burkard
Matthias Kistler
Urs Marti
Jérôme Ray
Markus Scherrer
Andreas Schlatter
Adrian Wiget

Introduction du cadre de référence 'MN95'
dans l'infrastructure nationale
de données géographiques



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Office fédéral de topographie swisstopo
Ufficio federale di topografia swisstopo
Uffizi federal da topografia swisstopo

www.swisstopo.ch

SQS-Zertifikat ISO 9001:2008



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de la défense,
de la protection de la population et des sports DDPS
armasuisse
Office fédéral de topographie swisstopo

Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95'

Rapport 21
2009

Bruno Vogel
Michael Burkard
Matthias Kistler
Urs Marti
Jérôme Ray
Markus Scherrer
Andreas Schlatter
Adrian Wiget

13^{ème} partie
Introduction du cadre de référence 'MN95'
dans l'infrastructure nationale de données
géographiques

Edition 2009

© 2009 **swisstopo**
Bundesamt für Landestopografie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern

Rédaction supervisée par A. Wiget
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
Tél. : +41 31 963 24 69
Fax : +41 31 963 24 59
Courriel : adrian.wiget@swisstopo.ch
Tirage : 150 exemplaires

ISBN 978-3-302-10004-3

swisstopo Doku ist die Nachfolgeserie der Reihe « Berichte aus der L+T » in welcher über die wichtigen travaux aus den Bereichen von swisstopo berichtet wird.

swisstopo Doku est la série qui succède aux « Berichte aus der L+T », lesquels décrivent les projets et activités les plus importants de swisstopo.

swisstopo Doku is the follow-up of the series « Berichte aus der L+T » in which important projects and activities of swisstopo are described.

Table des matières

Avant-propos	1
Résumé	3
1 Introduction	7
2 Situation initiale	8
2.1 Le concept de la MN95	8
2.2 Compensation de diagnostic de la triangulation de 1 ^{er} /2 ^{ème} ordre	9
2.3 Principes régissant le changement de cadre de référence pour la mensuration officielle	10
2.4 Oeuvres de la mensuration nationale de 1995	11
3 Bases	12
3.1 Fondements techniques	12
3.2 Bases légales	14
4 Stratégie de swisstopo	16
4.1 Stratégie dans le cadre de l'INDG	16
4.2 Stratégie de la mensuration officielle	16
5 Préparation du changement de cadre de référence MN03 → MN95	18
5.1 Organisation	18
5.2 Outils	25
5.3 Zones de test	27
5.4 Particularités du maillage triangulaire	30
6 Changement de cadre de référence MN03 → MN95	34
6.1 Possibilités de mise en oeuvre en fonction des exigences de précision	34
6.2 Maillage triangulaire pour FINELTRA au niveau de la mensuration nationale	35
6.3 Maillage triangulaire pour FINELTRA au niveau de la mensuration officielle	36
6.4 Le maillage triangulaire national CHENyx06	50
6.5 Service de positionnement swipos®	53
6.6 Méthodes d'interpolation à l'aide d'une grille / solutions approchées	54
7 Transformation de données tramées (raster)	57
7.1 Décalage général	57
7.2 Transformation de similitude	57
7.3 Interpolation inverse	58
7.4 Transformation à l'aide de points d'ajustage, NTV2	58
7.5 Transformation d'une mosaïque tramée	58
8 Traitement des altitudes	60
8.1 Lien entre les altitudes RAN95 et NF02	60
8.2 Situation initiale	61
8.3 La modélisation du passage RAN95 ⇔ NF02	62
8.4 Le logiciel de transformation <i>HTRANS</i> - partie intégrante de REFRAME	65
8.5 Etudes de précision avec des données existantes	66
8.6 Conséquences pour la MO, perspectives et remarques finales	67
9 Le logiciel de transformation REFRAME	68
9.1 Solution client et géoservice	68
9.2 Bibliothèque de programmes	71
10 Portail Internet dédié au changement de cadre de référence	72

11	Importance de la base de transformation MN03 ⇔ MN95 dans le contexte d'une mensuration nationale / infrastructure nationale de données géographiques moderne	75
12	Bénéfices du changement de cadre de référence	77
13	Conclusions	80
14	Perspectives	82
	Bibliographie	84
	Liste des abréviations	88

Avant-propos

La mensuration nationale fournit les géodonnées de référence fédérales qui servent de base géométrique à toutes les géodonnées de base de l'infrastructure nationale de données géographiques (INDG). Ses tâches englobent notamment la définition des systèmes géodésiques de référence ainsi que l'établissement, la mise à jour et la gestion des cadres de référence. Elle entretient ainsi un lien étroit avec la mensuration officielle qui garantit entre autres, sur cette base, la disponibilité des géodonnées de référence qui lient les propriétaires.

En 1988, le service de géodésie de l'Office fédéral de topographie a lancé le projet « Réseau national GPS » rebaptisé « Mensuration nationale 1995 (MN95) » en 1990. C'est l'apparition des méthodes de localisation par satellites, GPS en tête bien évidemment, qui a déclenché la définition d'une nouvelle mensuration nationale. Ces méthodes permettaient désormais de déterminer des coordonnées de précision subcentimétrique dans tout le pays. Les réseaux de triangulation existants ont ainsi pu être vérifiés, améliorés et pour partie renouvelés. Ce faisant, les nouvelles méthodes ont directement contribué, en retour, à la création de nouvelles bases géodésiques. Le fait par ailleurs que la visibilité réciproque déterminée entre les points par GPS n'était plus requise constituait un atout de poids, aux côtés du gain de précision notable. Les points fixes n'avaient plus à être implantés aux sommets des montagnes mais pouvaient être mis en place à proximité des agglomérations où les précisions accrues constituaient un apport immédiat. Ainsi, une base entièrement nouvelle (et même tridimensionnelle, en combinaison avec le nivellement fédéral et le géoïde recalculé) a pu voir le jour pour la mensuration nationale, basée sur le « Réseau national GPS », réalisé dans un délai relativement court. C'est la composante principale des « Oeuvres de la mensuration nationale de 1995 (OMN95) ».

L'amélioration des bases géodésiques n'a cependant pas été considérée comme une fin en soi lors des travaux de conception menés à la fin des années 1980, mais a d'emblée été envisagée dans la perspective des utilisateurs et des applications susceptibles de se fonder sur elle. La direction du projet avait parfaitement conscience du fait que l'amélioration de l'assise de la mensuration était souhaitable dans son principe et nécessaire à plus ou moins longue échéance, mais qu'elle aurait des conséquences lourdes et s'accompagnerait de gros travaux d'adaptation, au moins durant une phase transitoire. En regard de l'importance de la mensuration officielle (MO), support principal de la mensuration de détail en Suisse, il a été jugé opportun d'informer très tôt la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M), encore subordonnée à l'Office fédéral de l'aménagement du territoire à l'époque, afin de l'intégrer de manière adéquate dans le processus de mise en œuvre. En 1993, le groupe de travail « MO/MN95 » a été instauré par la D+M puis, en 1996, une fois la décision de principe du passage à la MN95 entérinée, le groupe de travail commun « DG/MN95 » a été créé. En 2000, alors que la D+M était déjà intégrée à l'Office fédéral de topographie swisstopo, la direction de l'office a mis en place le centre de compétence « CC DG/MN95 », en collaboration avec les cantons, les géomètres et les développeurs de logiciels.

Des incertitudes concernant les compétences subsistaient encore au départ : « Quel est le champ des compétences propres de la Confédération ? » Finalement, la nouvelle loi fédérale sur la géoinformation (LGéo) et les ordonnances associées sur la géoinformation (OGéo) et la mensuration nationale (OMN) sont venues clarifier ces aspects de même que le calendrier de la mise en œuvre.

Les débats tournaient principalement autour de questions techniques en lien avec la définition de la nouvelle mensuration nationale et le passage à la MN95. Un large consensus se dégagait sur le fait que ce changement devait s'effectuer dans le respect des besoins à satisfaire, de manière pertinente et acceptable sur les plans technique et économique. C'est pourquoi il a été décidé de limiter le changement de cadre de référence à la planimétrie et donc d'en exclure l'altimétrie. Qu'il soit du reste qualifié de « changement de cadre » et non de « changement de système » indique bien la portée du changement, lequel ne concerne pour l'essentiel que le cadre de référence, qui passe de MN03 à MN95. Les systèmes de référence

CH1903 et CH1903+ sont quasiment identiques. La nouvelle désignation « CH1903+ » signale simplement une nouvelle définition du point fondamental (point bien réel situé à Zimmerwald au lieu d'un point désormais virtuel à l'ancien observatoire astronomique de Berne). Ce changement de système a aussi été choisi de façon à être totalement transparent pour toutes les applications de la MO.

La présente 13^{ème} partie du rapport portant sur la définition de la nouvelle mensuration nationale MN95 est consacrée à l'introduction du nouveau cadre de référence MN95 en pratique, au sein de l'INDG en général et de la MO en particulier. La présentation du contexte (historique) et des conditions-cadre, puis l'exposé des motifs, sont notamment suivis de la description des outils, des moyens d'aide et des publications mis à disposition par swisstopo.

Je tiens à remercier ici toutes les personnes qui ont directement ou indirectement contribué (ou contribueront encore) au bon déroulement du changement de cadre de référence, à tous les stades du processus. Mes remerciements vont aussi à Monsieur Bruno Vogel qui a dirigé et coordonné la rédaction du présent rapport ainsi qu'à tous ses coauteurs pour leurs contributions sous forme de textes, de développement de méthodes ou de création d'outils. Je voudrais également citer et remercier ici les membres du « CC DG/MN95 » et sa direction ainsi que les membres des groupes de travail qui l'ont précédé, les collaborateurs concernés de la Direction des mensurations cadastrales et les représentants des cantons qui ont assuré une part très importante des travaux de conception et de mesure ayant servi à définir le maillage triangulaire national et le jeu de données CHENyx06 et ayant fourni ce faisant une contribution extrêmement importante à la détermination des bases de transformation. Je remercie également le professeur Dr A. Carosio et ses collaborateurs de l'IGP de l'EPF Zurich qui ont mis les bases théoriques à disposition pour la transformation, puis les ont mises en application au sein du logiciel FINELTRA. Mes remerciements s'adressent aussi aux collaborateurs du processus des « Points fixes géodésiques » (GF) pour le travail de fond réalisé et la coordination assurée lors de la définition du maillage triangulaire sans oublier l'équipe du processus des « Développements géodésiques et mandats » (GE) qui s'est chargée du développement de tous les modèles et logiciels comme de la réalisation des géoservices sur Internet, pour lesquels des collaboratrices et des collaborateurs du service Informatique, du centre SIG et du service web de swisstopo ont à leur tour été mis à contribution.

Wabern, en mars 2009

Adrian A. Wiget

Responsable du domaine Géodésie

Résumé

La possibilité de se positionner dans le cadre de référence MN95 à l'aide des satellites (en particulier avec le DGPS), avec une précision élevée (au centimètre près) sur l'ensemble de la Suisse, sans devoir, grâce à un service de positionnement comme *swipos*®, se rattacher à des points fixes voisins, facilite considérablement les travaux de mensuration et apporte certains avantages économiques. Cela ne peut se faire sans tenir compte des mensurations existantes dont la plus grande partie a une valeur légale. Plusieurs groupes de travail ont élaboré les bases, la stratégie de changement, les buts, les outils techniques, le financement et l'organisation nécessaires à un inévitable changement de cadre de référence.

Le présent rapport (Doku 21) est entièrement consacré au thème du changement de cadre de référence, à l'introduction pratique du nouveau cadre de référence MN95 et décrit les résultats principaux. Un exposé des motifs historiques, des conditions-cadre et des motivations est suivi de la présentation des outils et des jeux de données spécialement mis à disposition par swisstopo ainsi que de leur documentation qui ont une influence sur l'infrastructure nationale de données géographiques (INDG), la mensuration officielle (MO) et la mensuration en général.

La pièce maîtresse de la transformation des données de MN03 vers MN95 est le logiciel FINELTRA avec le jeu de données CHENyx06. Cet outil a été développé par l'EPFZ. Les maillages triangulaires ont été élaborés par les cantons et swisstopo. Il permet une précision de transformation centimétrique pour toute la Suisse, hormis quelques zones à problèmes devant encore être soumises à un traitement spécial. Des transformations simplifiées sont appliquées pour des données de moindre précision. La transformation des données tramées (raster) a fait l'objet d'une attention particulière et quelques outils de transformation spécifiques ont été développés à cet effet. Le logiciel REFRAME de swisstopo réunit toutes les applications nécessaires pour le changement de cadre de référence au sein d'une interface conviviale. REFRAME est aussi disponible comme application en ligne sur le site Internet de swisstopo.

La direction de swisstopo a décidé en juin 2002 de laisser les altitudes officielles de la MO dans le référentiel NF02 ; les altitudes usuelles restent donc la référence de pratiquement toutes les applications en Suisse. Elles ne sont pas touchées directement par le changement de cadre de référence MN95 ni par le nouveau cadre de référence altimétrique RAN95. On ne pourra toutefois pas ignorer RAN95 (avec le géoïde CHGeo2004) pour les déterminations altimétriques précises à l'aide de GNSS. Pour en tenir compte, le programme de transformation HTRANS est également à disposition sous REFRAME.

Les bases juridiques sont fixées par la nouvelle loi sur la géoinformation, entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2008, tout comme les ordonnances qui l'accompagnent. Cette loi et ces ordonnances précisent formellement que le passage à la MN95 doit être achevé en 2016 pour les données de référence (données de la MO incluses) et en 2020 pour les autres géodonnées de base relevant du droit fédéral.

Zusammenfassung

Die Möglichkeit, mittels Satellitenvermessung (insbesondere mit DGPS) im geodätischen Bezugsrahmen LV95 über die ganze Schweiz Positionen mit hoher Genauigkeit im Zentimeterbereich bestimmen zu können, ohne in unmittelbarer Nähe auf Anschlusspunkte angewiesen zu sein, erleichtert das Vermessungswesen in hohem Masse und bringt entsprechende wirtschaftliche Vorteile. Doch dies kann nicht losgelöst von den bestehenden und zu einem grossen Teil rechtsverbindlichen Vermessungsgrundlagen erfolgen. In verschiedenen Arbeitsgruppen (siehe Kap. 5.1) wurden für den dafür unumgänglichen Bezugsrahmenwechsel die Ziele, die Grundsätze, die Umsetzungsstrategie, die technischen Werkzeuge, die Finanzierung, die Organisation etc. formuliert und erarbeitet.

Dieses swisstopo Doku Nr. 21 widmet sich der Thematik des Bezugsrahmenwechsels, der Einführung des neuen Bezugsrahmens LV95 in der Praxis und dokumentiert die wichtigsten Ergebnisse. Nach der Schilderung der (geschichtlichen) Hintergründe, der Rahmenbedingungen und der Motive werden insbesondere die von swisstopo bereitgestellten Werkzeuge und Datensätze sowie deren Publikationsmittel vorgestellt, die in der nationalen Geodateninfrastruktur (NGDI), in der amtlichen Vermessung (AV) und im Vermessungswesen überhaupt zum Tragen kommen.

Das „Herzstück“ für die Transformation der Daten von LV03 in LV95 ist die Software FINELTRA mit dem zugehörigen Datensatz CHENyx06. Dieses von der ETHZ entwickelte Tool mit der durch die Kantone und swisstopo erarbeiteten Dreiecksvermaschung ermöglicht eine Transformationsgenauigkeit von wenigen Zentimetern über die ganze Schweiz, exklusiv weniger Problemzonen, die eine besondere Bearbeitung erfordern. Für Daten mit geringeren Genauigkeitsanforderungen werden entsprechend vereinfachte Transformationen eingesetzt. Eine besondere Aufmerksamkeit erhält dabei auch die Transformation von Rasterdaten, wofür ebenfalls spezielle Tools erarbeitet werden konnten. Im Softwarepaket REFRAME von swisstopo werden alle relevanten Anwendungen für den Bezugsrahmenwechsel unter einer übersichtlichen Benutzeroberfläche vereint. REFRAME steht den Benutzern auch als Web-Applikation online über das Webportal von swisstopo zur Verfügung.

Die offiziellen Höhen der AV bleiben laut Beschluss der Geschäftsleitung von swisstopo vom Juni 2002 weiterhin im Bezugsrahmen LN02 als so genannte Gebrauchshöhen bestehen und bilden damit auch die Referenzhöhen für die meisten Anwendungen in der Schweiz. Sie tangieren deshalb den Bezugsrahmenwechsel auf LV95 resp. auf den neuen Höhenbezugsrahmen des Landeshöhennetzes LHN95 nicht direkt. Für die genaue Höhenbestimmung mit GNSS ist dennoch das LHN95 zusammen mit der Berücksichtigung des Geoids CHGeo2004 nicht wegzudenken. Für den korrekten Höhenübergang zwischen LN02 und LHN95 wurde die Transformationssoftware HTRANS entwickelt, welche ebenfalls unter der Benutzerschale REFRAME angeboten wird.

Mit der Inkrafttretung des neuen Geoinformationsgesetzes GeolG auf den 1. Juli 2008 und mit den dazu gehörenden Verordnungen sind auch die gesetzlichen Grundlagen gegeben. Darin wird verbindlich festgelegt, dass die Umstellung auf LV95 für die Referenzdaten (inkl. Daten der AV) bis 2016 und für die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts bis 2020 zu erfolgen hat.

Sommario

La possibilità di posizionarsi nel quadro di riferimento geodetico MN95, tramite l'aiuto dei satelliti (in particolare con il DGPS), con un alto grado di precisione (pressoché al cm) sull'insieme della Svizzera senza doversi congiungere a dei punti fissi vicini, facilita in modo considerevole i lavori di misurazione e apporta alcuni vantaggi economici. Tuttavia ciò non può avvenire senza tenere conto delle misurazioni di base aventi in parte anche un valore giuridico. Diversi gruppi di lavoro (v. Cap. 5.1) hanno formulato ed elaborato le basi, la strategia d'attuazione, gli strumenti tecnici, il finanziamento, l'organizzazione, ecc. necessari per l'attuazione di un cambiamento del quadro di riferimento.

La presente pubblicazione Doku Nr. 21 è consacrata alla tematica del cambiamento del quadro di riferimento, così come all'introduzione del nuovo quadro di riferimento MN95 nella pratica e documenta i risultati più importanti. L'illustrazione di alcuni aspetti (storici), delle condizioni quadro e delle motivazioni, sono seguiti dalla presentazione degli strumenti e dei set di dati messi a disposizione da swisstopo, così come da una panoramica sui mezzi di pubblicazione offerti dall'infrastruttura nazionale dei geodati (INGD), dalla misurazione ufficiale (MU) e dalla misurazione in generale.

Il pezzo forte della trasformazione dei dati da MN03 a MN95 è il software FINELTRA con il set di dati "CHENyx06". Questo strumento, sviluppato dall'EPFZ con la magliatura triangolare elaborata dai Cantoni e da swisstopo, permette una precisione di trasformazione del grado di alcuni cm in tutta la Svizzera, ad eccezione di alcune zone problematiche che necessitano un'elaborazione specifica. Per i dati che richiedono un grado di precisione inferiore vengono applicate delle trasformazioni semplificate. Un'attenzione particolare è anche data alla trasformazione dei dati raster, per i quali sono a loro volta stati elaborati degli strumenti specifici. Nel pacchetto software REFRAME di swisstopo, sono state raggruppate su un'interfaccia di facile uso, tutte le applicazioni importanti per il cambio del quadro di riferimento. REFRAME è anche utilizzabile quale applicazione WEB sul portale Internet di swisstopo.

La direzione di swisstopo ha deciso nel giugno 2002 di lasciare le altezze ufficiali della MU nel quadro di riferimento LF02, le cosiddette altezze usuali restano quindi le altezze di riferimento per le maggiori applicazioni in Svizzera. Esse non sono toccate direttamente dal cambio del quadro di riferimento MN95 e nemmeno dal nuovo quadro di riferimento altimetrico RAN95. In alcuni casi non sarà però possibile ignorare RAN95 (con il geoide CHGeo2004) per le determinazioni altimetriche precise con l'aiuto di GNSS. Per una corretta trasformazione altimetrica tra LF02 e RAN95 è stato creato il software HTRANS, il quale è a sua volta disponibile nel pacchetto REFRAME.

Le basi giuridiche sono state date dall'entrata in vigore il 1^o luglio 2008 della nuova legge sulla geoinformazione e dalle relative ordinanze. Questa legge e le ordinanze precisano formalmente che il passaggio a MN95 dei dati di riferimento della MU dovrà essere conclusa entro il 2016, mentre per tutti gli altri geodati di base di diritto federale entro il 2020.

Abstract

Being able to use satellite-based surveying (particularly with DGPS) to determine the position of any point in Switzerland to the centimeter in the geodetic reference frame MN95 instead of having to depend on neighboring connecting points results in substantial economic benefits and makes surveying much easier and faster. This process, however, cannot be detached from the existing and – to a large part – still legally binding surveying documents and principles. The aims, basic theories, transformation strategy, technical tools, financial aspects, organization, etc. for this inevitable transition to the new reference frame were formulated and developed in various working groups (see Chap. 5.1).

Volume 21 of the swisstopo series *Doku* is dedicated to the introduction of the reference frame MN95 in practice and documents the most important results. Following a summary of the historical background, the general requirements and the motives, this publication will describe in particular the tools and data sets by swisstopo which will influence the national spatial data infrastructure (NSDI), the cadastral survey (AV) and surveying in general, and how these will be published, distributed and made available to consumers and the general public.

The software program FINELTRA and its corresponding data set CHENyx06 are the core of the data transformation from MN03 to MN95. This tool, developed by the Federal Institute of Technology in Zurich, uses the triangular transformation network set up by the Cantons and swisstopo to transform coordinates across all of Switzerland at an accuracy of a few centimeters. A few exceptional areas requiring individual consideration are unavoidable. Simplified transformations are applied to data with reduced accuracy demands. The transformation of raster data demands particular attention and requires special tools. The software package REFRAME, developed by swisstopo, combines all of the relevant applications for the transition of the reference frame in a clearly designed user interface. REFRAME is also available as an online web application on the swisstopo web portal.

In compliance with a decision by the swisstopo corporate management in June 2002, the official heights in cadastral surveying being the reference heights for most applications in Switzerland will remain in the old vertical reference frame NF02. They do not have a direct effect on the transition to the new reference frame MN95 or the new vertical reference frame RAN95. For accurate height determinations with GNSS, however, the RAN95 in combination with the geoid CHGeo2004 cannot be ignored. For the correct transition between NF02 and RAN95, swisstopo developed the program HTRANS which is also available as part of the REFRAME package.

The legal foundations are stated in the new Geoinformation Act (GeoIG) and the respective ordinances which came into effect on July 1, 2008. Therein it is required that the transition to the reference frame MN95 shall be completed by 2016 for reference data (including cadastral surveying data) and by 2020 for the remaining official geodata under federal legislation.

1 Introduction

La mensuration nationale ne doit jamais occuper le premier plan du seul point de vue géodésique. Elle livre les géodonnées de référence dans le cadre de l'infrastructure nationale de données géographiques (INDG), lesquelles servent de base pour l'ensemble des géodonnées de base et des géodonnées au sens le plus large. Ce faisant, elle entretient aussi un lien étroit avec la mensuration officielle. En définitive, toutes les applications impliquant des géodonnées ont besoin de s'appuyer sur une base si possible uniforme, nécessaire à la bonne compréhension des informations, permettant un positionnement géographiquement correct (au plan global et local) des données à référence spatiale. La définition de la nouvelle mensuration nationale MN95 visait à constituer une base moderne, adaptée aux méthodes de mesure actuelles et apte à prendre le relais de la mensuration nationale de 1903 (MN03), encore officiellement en vigueur aujourd'hui après plus de cent ans de service. Des informations détaillées relatives à ce projet d'envergure spécifiquement géodésique figurent dans les parties déjà publiées ou encore à venir de la série swisstopo Doku parue sous le titre « Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95' » (voir tableau synoptique en dernière page de ce rapport).

La présente 13^{ème} partie est entièrement consacrée au passage du cadre de référence MN03 existant au nouveau cadre de référence MN95 de l'INDG, notamment de la mensuration officielle et des produits dérivés de cette dernière. Les promoteurs du projet ont d'emblée eu conscience de l'impact considérable de l'introduction d'un nouveau système/cadre de référence sur l'utilisation et la gestion de l'ensemble des géodonnées, puisque toutes se sont jusqu'à présent fondées sur les bases d'origine de la MN03. Cette nouvelle situation inédite a été analysée en étroite collaboration avec les responsables de la mensuration officielle ainsi qu'avec des représentants des hautes écoles et des associations professionnelles. Des solutions ont été proposées et une estimation des conséquences du changement de cadre de référence pour les données de la mensuration officielle a été tentée. Les concepts élaborés, les outils forgés et les résultats obtenus par les différents groupes de travail instaurés au cours des quinze dernières années sont présentés de manière succincte dans ce rapport.

2 Situation initiale

La décision prise par l'Office fédéral de topographie en 1988 de lancer le projet MN95 a créé une situation totalement inédite pour la mensuration officielle. La mesure électronique des distances apparue dans les années 60 du XX^e siècle a été à l'origine d'une amélioration considérable sur le plan qualitatif. Ces nouveaux instruments utilisés en conjonction avec des méthodes de calcul modernes ont permis de découvrir un grand nombre de contraintes dans les réseaux de triangulation existants, certaines d'entre elles atteignant par endroits plusieurs décimètres sur des distances de quelques kilomètres à peine, de sorte que des travaux de renouvellement parfois coûteux et de grande ampleur furent nécessaires. L'accroissement supplémentaire de précision et d'efficacité dû aux méthodes de mensuration par satellites introduites dès les années 80 posait alors la question suivante : jusqu'à quel point des mesures aussi précises doivent-elles être systématiquement altérées afin de les forcer à respecter des bases de mensuration vieillies (réseaux de triangulation et de polygonation) ? Le potentiel de la méthode GPS fut à l'époque exploité par swisstopo pour localiser plus précisément encore les carences connues d'une mensuration nationale plus que centenaire et pour mettre parallèlement en place une nouvelle base de mensuration libre de toute contrainte sur tout le territoire suisse. La Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) a été continuellement informée des plans élaborés, dès le lancement du projet. Pourtant, ces nouvelles évolutions semblaient susciter peu d'intérêt dans les milieux de la mensuration officielle, l'importance du GPS dans la pratique quotidienne n'étant pas encore manifeste. Cette situation devait toutefois changer vite et de manière radicale.

2.1 Le concept de la MN95

La genèse et le concept de la MN95, l'organisation du projet et sa planification sont décrits en détail dans la première partie du rapport sur la définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95' [Schneider et al. 1995a], raison pour laquelle on se limitera ici à un bref résumé.

Un groupe de travail composé des cadres du service Géodésie et dirigé par Adrian Wiget a été chargé de la réalisation de ce projet exigeant. Le groupe de travail a formé cinq comités : « Systèmes de référence », « Densification », « Systèmes altimétriques », « Méthodes GPS » et « Coordination ». Les résultats des premiers essais et des mesures de test réalisées par GPS ayant clairement mis en évidence le potentiel élevé de la nouvelle méthode de mesure, le concept d'une nouvelle mensuration nationale 1995 'MN95' a été élaboré, se fondant sur un réseau national GPS comme pilier central et une relation optimale avec les systèmes de référence globaux internationaux. Le planning du projet prévoyait un processus par étapes avec un achèvement du nouveau réseau national GPS au courant de l'année 1995. Un nouveau réseau altimétrique primordial devait par ailleurs être établi dans un second temps. Il semblait possible, au vu de cette procédure par étapes, de mener ce grand projet à bien avec le personnel existant et les moyens financiers restreints à disposition dans un délai raisonnable. Les objectifs assignés et les exigences posées à une mensuration nationale moderne ont été formulés comme suit :

- mise en relation des systèmes de référence géodésiques locaux (nationaux) et globaux (internationaux) par des mesures de rattachement des réseaux nationaux aux cadres de référence globaux,
- transformation de la station de suivi des satellites existante de Zimmerwald, gérée par l'Institut astronomique de l'Université de Berne (AIUB), en station géodésique fondamentale de la Suisse,
- relevé des mouvements (dans l'espace et dans le temps) de la partie supérieure de l'écorce terrestre par la répétition de mesures en 3D de très haute précision de points géodésiques appropriés,

- détermination hautement fiable et précise des coordonnées 3D du réseau national GPS, de la covariance du jeu de coordonnées et d'un champ de vitesses associé,
- détermination de données astrogéodésiques (déviations de la verticale) et gravimétriques (mesures gravimétriques) sur les points du réseau national GPS, une sélection de points du nivellement fédéral et des points d'importance particulière,
- création d'un réseau altimétrique (cotes orthométriques et/ou altitudes normales) rigoureux du point de vue de la théorie du potentiel (dans l'espace et dans le temps), réalisé par des mesures gravimétriques et de nivellement répétées, réduites de manière rigoureuse et complétées par l'intégration de considérations cinématiques,
- création d'un modèle de géoïde précis, permettant la mise en relation du réseau 3D (GPS) avec le réseau altimétrique national (nivellement),
- mise en relation du nouveau réseau national GPS avec les réseaux de la mensuration nationale existante (triangulation en MN03 et nivellement fédéral en NF02) en vue de l'analyse et de l'élimination des tensions présentes dans les anciens réseaux,
- création de possibilités de rattachement optimales au réseau national pour les réseaux de densification de la mensuration officielle et les réseaux de base de projets de grande ampleur.

Ces deux derniers objectifs concernent plus spécifiquement la thématique du présent rapport. Il est nécessaire, pour que le nouveau cadre de référence MN95 puisse servir à toutes les mensurations effectuées en Suisse et surtout à la mensuration officielle, qu'une possibilité simple soit offerte pour la conversion des coordonnées du cadre de référence MN03 vers le cadre de référence MN95 (et vice versa, au moins provisoirement). Dans cette optique, une méthode de transformation devait être élaborée et concrètement mise en oeuvre au sein d'un logiciel approprié, en étroite collaboration avec l'Institut de géodésie et de photogrammétrie (IGP) de l'EPF Zurich.

L'extension de la technologie GPS et son évolution caractérisée par l'émergence de méthodes de traitement GPS et de moyens de télécommunication encore plus performants alors même que le projet MN95 était en cours, rendaient d'autres options de mise à disposition de cadres de référence géodésiques envisageables, en complément aux réseaux de base classiques hiérarchisés. Avec les stations GPS en fonctionnement permanent, interconnectées entre elles et fournissant des données disponibles hors ligne (post-traitement GPS classique) ou en ligne (mode cinématique en temps réel, RTK), il est désormais possible de mettre des bases géodésiques à la disposition de l'utilisateur sous une forme appropriée. L'importance de ces réseaux GPS en fonctionnement permanent a aussi été reconnue en Suisse, de sorte qu'une base correspondante a été créée sous le nom de « Réseau GPS automatique suisse » (AGNES) [Wild et al. 2006]. Le service de positionnement suisse « swipos[®] » en lien direct avec AGNES fait donc, lui aussi, partie intégrante de la nouvelle mensuration nationale MN95.

2.2 Compensation de diagnostic de la triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre

La compensation de diagnostic de la triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre visait deux objectifs fondamentaux :

- **L'analyse des déformations présentes dans la triangulation nationale** par une compensation libre globale des mesures extraites à nouveau des carnets de terrain initiaux. Ce travail visait d'une part à corriger des incohérences dont certaines étaient déjà connues et d'autre part à éliminer des erreurs de mesure et d'identification décelées dans les calculs d'origine. Ces travaux, désignés par le sigle **DIA93**, ont fait l'objet d'une documentation complète dans la quatrième partie du rapport MN95 [Chablais et al. 1995].
- **La mise à disposition des coordonnées** de tous les points de triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre de Suisse **dans le cadre de référence MN95**. Des liaisons directes entre les points

existants en MN03 et les nouveaux points GPS en MN95 ont dû être mesurées à cette fin. Au total, 125 des 240 points de la triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre ont ainsi été rattachés au réseau national GPS. Ces mesures de rattachement ont été effectuées pour partie par GPS, pour partie en combinant des mesures GPS et trigonométriques et pour partie de manière classique, par des mesures purement trigonométriques. L'intégration de mesures GPS assurant le rattachement au réseau national GPS MN95 a rendu le réseau **DIA95** beaucoup plus robuste que son prédécesseur DIA93. Il permettait non seulement de procéder à une analyse plus fine des anciennes mesures classiques mais également de déceler la présence d'éventuels systématismes en combinant des mesures classiques et des mesures GPS. DIA95 constitue donc un jeu de données amélioré pour l'évaluation des déformations de MN03. Ce jeu de données fournit par conséquent une bonne base provisoire pour la définition de la procédure de transformation entre MN03 et MN95, du moins au niveau de la mensuration nationale. Des informations plus détaillées à ce sujet peuvent être trouvées dans la huitième partie du rapport MN95 [Signer et al. 2001].

2.3 Principes régissant le changement de cadre de référence pour la mensuration officielle

Avec les nouveaux cadres de référence MN95 pour les coordonnées planimétriques et RAN95 pour les altitudes, on dispose désormais de bases de mensuration permettant de déterminer des positions sur tout le territoire suisse avec une grande précision (centimétrique), sans que des points de rattachement aient à exister à proximité immédiate. Ce constat souligne les avantages économiques déjà connus des méthodes de localisation par satellites avec service de positionnement. Les divers groupes de travail mis en place (cf. § 5.1) ont formulé et constamment réadapté les principes, la stratégie de mise en œuvre, les objectifs, le financement, l'organisation etc. Les caractéristiques fondamentales sont brièvement récapitulées dans la suite :

Principes
<ul style="list-style-type: none"> Il n'existe qu'un seul cadre de référence officiel pour la mensuration officielle. Cependant, les données doivent pouvoir être fournies aux clients dans les deux cadres de référence MN03 et MN95 durant la phase de transition (2006-2020).
<ul style="list-style-type: none"> Le cadre de référence altimétrique NF02 (altitudes usuelles) doit être conservé.
<ul style="list-style-type: none"> Les coordonnées des points de référence exprimées dans le cadre MN95 sont fixes et ne peuvent être modifiées que dans des cas dénués de toute ambiguïté. Les aspects cinématiques ne sont pas pris en compte.
<ul style="list-style-type: none"> Les coordonnées des deux cadres de référence doivent se distinguer clairement les unes des autres (origine des coordonnées en MN95 : E = 2'600'000 m et N = 1'200'000 m et en MN03 : y = 600'000 m et x = 200'000 m).
<ul style="list-style-type: none"> La mensuration officielle doit passer au nouveau cadre de référence MN95 à moyen terme.
<ul style="list-style-type: none"> Le calendrier prévoit une phase de préparation (2006) et une phase de mise en œuvre (2016).
<ul style="list-style-type: none"> La préparation a pour objet d'établir une relation stable entre MN03 et MN95. La transformation affine par éléments finis est considérée comme étant la méthode de transformation la mieux adaptée. Elle est mise en œuvre via le logiciel FINELTRA et le maillage triangulaire associé, c.-à-d. le jeu de données de transformation officiel CHENyx06.

- Le réseau principal MN95 (auparavant le réseau national GPS) est densifié pour les besoins de la mensuration officielle et des projets de mensuration de grande ampleur. Qualifiés de **points MN95**, ces points principaux et de densification sont des points de la mensuration nationale.
- Les autres points d'appui de la transformation destinés à affiner le **maillage triangulaire** pour le jeu de données FINELTRA **CHENyx06** sont définis par les cantons eux-mêmes et rattachés au réseau MN95.
- La **coordination** entre les cantons et la gestion du jeu de données officiel du maillage triangulaire sont assurées de manière centralisée par swisstopo.

Tableau 2-1 : principes régissant le changement de cadre de référence pour la mensuration officielle

2.4 Oeuvres de la mensuration nationale de 1995

Plus de vingt années se sont déjà écoulées depuis le lancement du projet MN95. Le domaine de la géodésie et de la mensuration nationale a également connu de profonds changements durant cette période. La tâche initiale consistait à renouveler les bases théoriques et à mettre en place les cadres de référence associés MN95, CHTRF95, CHTRFyy, RAN95, etc. Le positionnement par satellites ayant considérablement évolué depuis lors en matière de méthodes de mesure en temps réel, un réseau GNSS en fonctionnement permanent et offrant une large gamme de services a donc été mis à disposition, de même qu'un service de positionnement national (*swipos*®). Le projet initial MN95 s'est transformé en un processus en perpétuelle évolution, générant des produits couvrant la chaîne entière des travaux géodésiques et qui, considéré dans son intégralité, répond désormais à l'appellation d'« Oeuvres de la mensuration nationale de 1995 (OMN95) » [Schneider 2006].

Le graphique suivant fournit une vue d'ensemble des notions comprises dans cet ensemble :

Oeuvres de la mensuration nationale de 1995 "OMN'95"

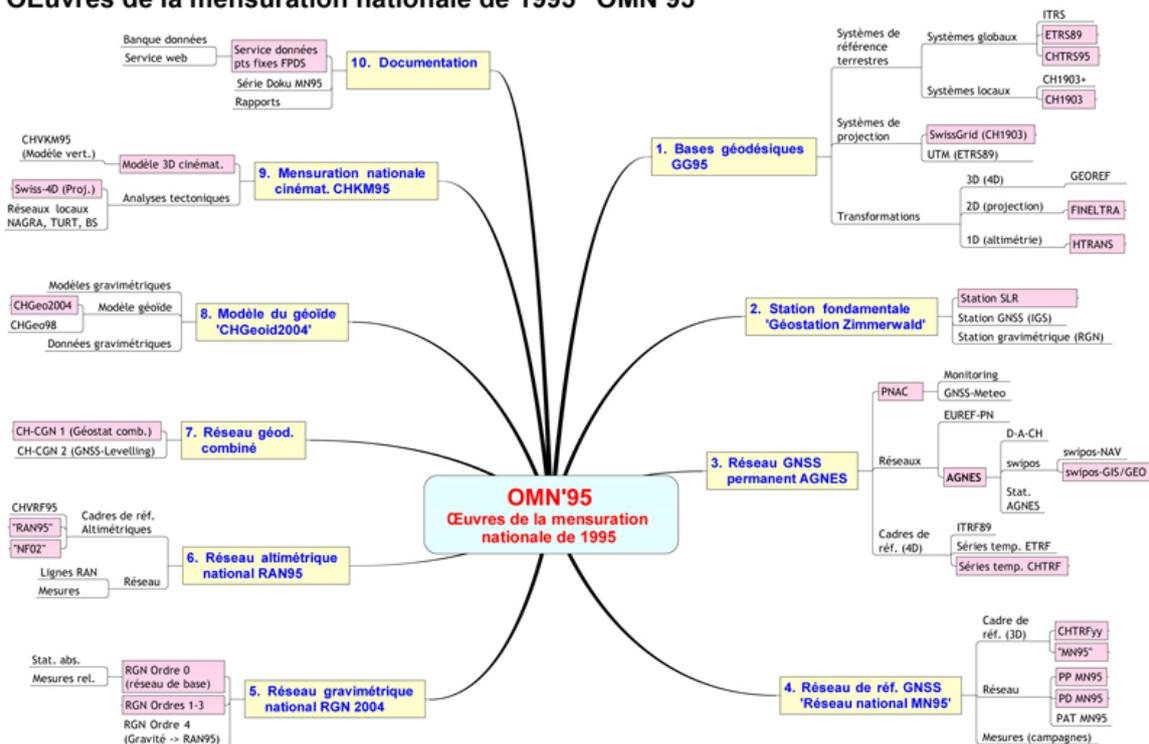


Figure 2-1 : vue d'ensemble des oeuvres de la mensuration nationale de 1995

3 Bases

3.1 Fondements techniques

Les systèmes et les cadres de référence terrestres ainsi que les liens qui les unissent les uns aux autres sont décrits en détail dans la troisième partie du rapport MN95 [Schneider et al. 1995b]. Seules les notions importantes dans le contexte du changement de cadre de référence font l'objet d'explications ici.

3.1.1 Systèmes de référence

La notion de système de référence (Reference System) désigne la définition théorique d'un système de coordonnées dans l'espace.

CHTRS95 (Swiss Terrestrial Reference System 1995) est le nouveau système de référence pour le positionnement global de la mensuration nationale suisse MN95, parfaitement identique avec ETRS89 à la date $t_0 = 1993,0$. Le système comprend la définition de l'ellipsoïde de référence (GRS80) et de son positionnement (position et orientation) en Z_0 (géostation de Zimmerwald) avec son évolution dans le temps. La projection UTM (Universal Transverse Mercator) est utilisée en conjonction avec CHTRS95 qui définit par ailleurs un nouveau système d'altitudes orthométriques, rigoureux du point de vue de la théorie du potentiel, utilisant l'altitude de Z_0 comme horizon de référence avec la cote orthométrique $H_0 = 897,8027$ m (déduite de UELN95/98).

CH1903 (système de référence de l'ancienne mensuration nationale de 1903) est l'ancien système de référence défini et introduit en 1903, toujours en vigueur dans la mensuration officielle aujourd'hui. Le système comprend la définition d'un ellipsoïde de référence (Bessel 1841) et de son positionnement (position et orientation) sur l'ancien point fondamental (ancien observatoire astronomique de Berne), la transformation en CHTRS95 ainsi que la projection cylindrique conforme à axe oblique de la Suisse (Swiss Grid). Le système des altitudes usuelles **NF02** a été défini un an avant CH1903 et utilise l'altitude du « Repère Pierre du Niton », situé dans la rade de Genève, comme horizon de référence avec la valeur de 373,6 m.

CH1903+ (système de référence de la nouvelle mensuration nationale de 1995) est le nouveau système de référence au positionnement local de la mensuration nationale suisse MN95, destiné à servir de base pour la mensuration officielle à l'avenir. CH1903+ utilise les mêmes dimensions d'ellipsoïde (Bessel 1841) que CH1903. Les axes de coordonnées spatiales X, Y, Z sont directement déduits de CHTRS95 par 3 translations. Le système de projection cartographique (Swiss Grid) est identique à celui de CH1903. Le nouveau point fondamental Z_0 de la géostation de Zimmerwald est le nouveau point d'origine des altitudes. Sa cote orthométrique $H_0 = 897,9063$ a été choisie de telle façon que le « Repère Pierre du Niton » dans la rade de Genève se voie associer la cote orthométrique approchée de 373,6 m.

3.1.2 Cadres de référence

Un cadre de référence (Reference Frame) doit être affecté à chaque système de référence. Par cadre de référence, on entend la concrétisation du système sous la forme de jeux de coordonnées de points réels. Ces jeux de coordonnées résultent de la compensation d'observations géodésiques, ce qui signifie que toute nouvelle détermination de ces jeux de coordonnées donne naissance à un nouveau cadre de référence.

CHTRF95 (Swiss Terrestrial Reference Frame 1995) associé à CHTRS95 est un cadre de référence tridimensionnel basé sur le réseau national GPS (qui comporte 104 points principaux et 103 points de densification répartis sur tout le territoire) et le réseau GNSS permanent AGNES (31 stations automatiques). Le cadre de référence de haute précision répond à toutes les exigences en matière de précision (centimétrique) et de fiabilité absolues des jeux de coordonnées. Conformément à sa définition dans le système CHTRS95 lié au temps, CHTRF95 est le jeu de données qui se rapporte à la date $t_0 = 1993,0$ (1^{er} janvier 1993).

MN03 (mensuration nationale de 1903) associé au système de référence CH1903 repose sur un réseau de triangulation hiérarchisé en trois niveaux (1^{er} au 3^{ème} ordre) et sa détermination se fonde principalement sur des mesures d'angles et de directions. Au total, près de 3000 points fixes planimétriques de catégorie 1 (PFP1) sont disponibles, présentant une précision relative entre points voisins de l'ordre de 3 à 5 cm. Aujourd'hui encore, MN03 est la base officielle de la plupart des mensurations en Suisse. Le point fondamental de ce réseau de points fixes est l'ancien observatoire astronomique de Berne dont les coordonnées nationales sont $y = 600'000$ m et $x = 200'000$ m.

MN95 (nouvelle mensuration nationale de 1995) associé au système de référence suisse renouvelé CH1903+ est le cadre de référence tridimensionnel qui s'appuie sur les mêmes points de réseau que CHTRF95. Il sert de base pour les applications modernes de la mensuration et servira, dans un avenir proche, pour l'ensemble des géodonnées de base relevant du droit fédéral, notamment celles de la mensuration officielle. Comme dans le cas de MN03, l'origine des coordonnées (à laquelle des valeurs de *faux est* et de *faux nord* sont associées) de ce réseau de points fixes est l'ancien observatoire astronomique de Berne, ses coordonnées nationales étant toutefois $E = 2'600'000$ m et $N = 1'200'000$ m.

Le réseau du nivellement fédéral **NF02** forme la base sur laquelle s'appuient la plupart des déterminations altimétriques réalisées pour des cartes et des mensurations en Suisse. Il comporte un total de 18 boucles principales ainsi que des lignes secondaires supplémentaires comprenant environ 8000 points fixes de nivellement. Les altitudes de ces points sont et restent provisoirement les altitudes usuelles officielles de la Suisse (c.-à-d. sans réduction gravimétrique). Le « Repère Pierre du Niton » à Genève est le point de référence pour les mesures altimétriques. Son altitude est fixée à 373,6 m.

RAN95 (réseau altimétrique national de 1995) associé au système de référence suisse renouvelé CH1903+ est un cadre de référence altimétrique de la nouvelle mensuration nationale MN95, rigoureux du point de vue de la théorie du potentiel. Il se fonde sur les données du nivellement fédéral (de 1902 à aujourd'hui) et tient compte des données gravimétriques ainsi que des différences de cotes ellipsoïdiques issues du réseau national GPS et des cotes du géoïde du modèle CHGeo2004. Les altitudes RAN95 sont principalement fournies sous la forme de cotes orthométriques. La cote orthométrique du point fondamental de Zimmerwald sert d'horizon de référence. RAN95 n'est pas appelé à être utilisé en mensuration officielle dans un avenir proche, mais est cependant indispensable pour un calcul correct des altitudes par GNSS (cf. chapitre 8).

3.1.3 Liens

Seuls les cadres de référence MN03 et MN95 sont a priori impliqués lors du changement de cadre de référence MN03 ⇔ MN95 pour la mensuration officielle. Le cadre de référence altimétrique usuel NF02 est conservé pour les altitudes. Le graphique suivant entend cependant fournir une vue d'ensemble des cadres de référence jouant un rôle en cas d'utilisation de la méthode GNSS. L'influence de la méthode de localisation par satellites ne cessant de s'étendre, en mensuration officielle également, il convient de veiller à ce que la procédure appropriée soit appliquée, notamment pour ce qui concerne les déterminations altimétriques.

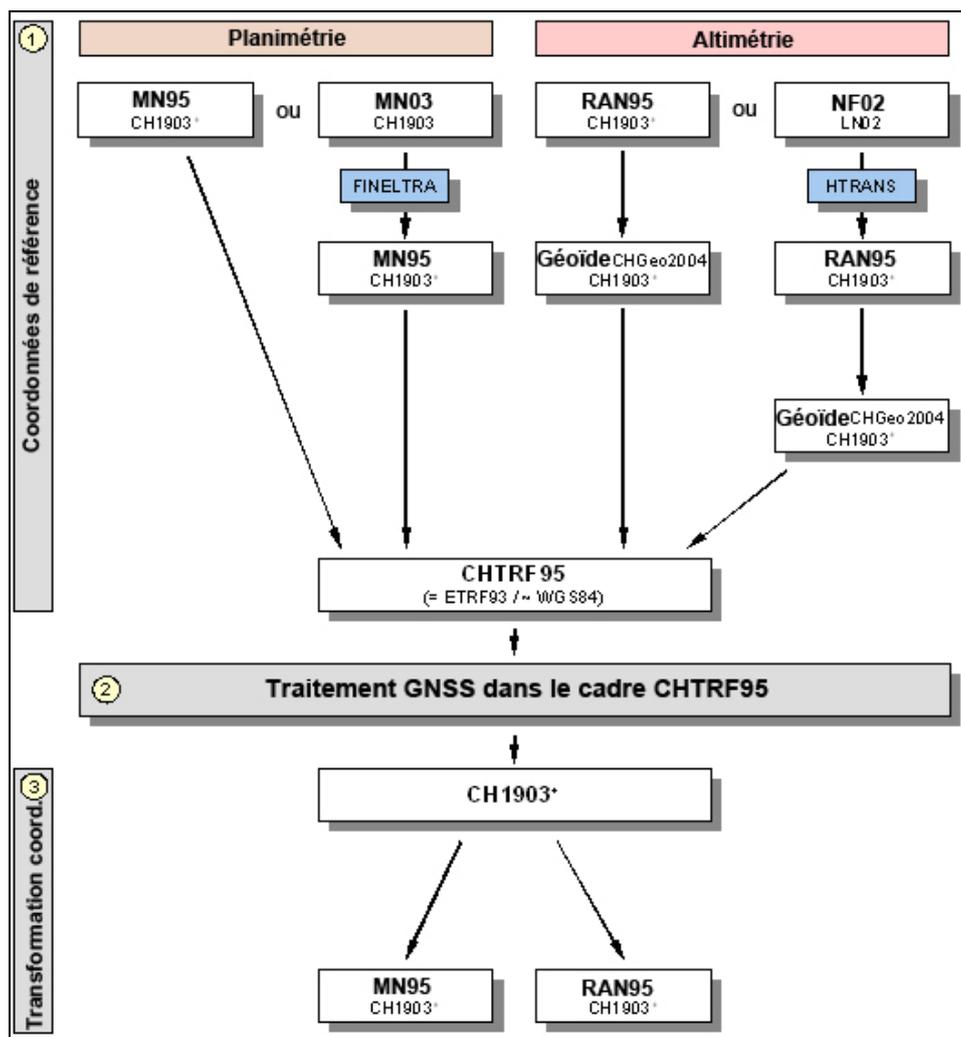


Figure 3-1: liens entre les différents cadres de référence

① à ③ : procédures de calcul pour une exploitation du GNSS

3.2 Bases légales

En Suisse, l'Office fédéral de topographie (swisstopo) est compétent pour l'établissement des bases géodésiques et pour la mise en place, la conservation et la mise à jour des réseaux géodésiques de la mensuration nationale. Une mission de veille technologique lui incombe également de façon à rester en phase avec l'évolution des techniques géodésiques. La Direction fédérale des mensurations cadastrales, subordonnée à l'Office fédéral de topographie swisstopo depuis le 1er janvier 1999, exerce la haute surveillance sur la mensuration officielle.

3.2.1 Anciennes bases

Avant l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur la géoinformation (LGéo) le 1^{er} juillet 2008, il était bien difficile de s'y retrouver parmi les multiples dispositions de lois et d'ordonnances existantes. Les actes législatifs principaux régissant ce domaine sont brièvement récapitulés dans la suite, sans souci d'exhaustivité :

Au niveau fédéral :

- Code Civil (CC) du 01.01.1912 articles 942 et 950
- Loi fédérale du 21 juin 1935 concernant l'établissement de nouvelles cartes nationales
- Ordonnance du 10 mai 1972 sur les attributions du Service topographique fédéral
- Arrêté fédéral du 20 mars 1992 concernant les indemnités fédérales dans le domaine de la mensuration officielle
- Ordonnance du 18 novembre 1992 sur la mensuration officielle (OMO)
- Ordonnance technique du 10 juin 1994 sur la mensuration officielle (OTEMO)
- Règlement intérieur de l'Office fédéral de topographie
- Diverses prescriptions (instructions et directives) relatives à la mise à jour des œuvres cadastrales existantes.

Au niveau cantonal :

- Lois et ordonnances cantonales et normes, adaptées aux prescriptions fédérales.

3.2.2 Nouvelle LGéo et Ordonnances

L'introduction du nouvel **article 75a de la Constitution fédérale** à la date du 1^{er} janvier 2008 a clairement ancré la mensuration dans notre constitution, sans équivoque possible : « La mensuration nationale relève de la compétence de la Confédération. » La loi sur la géoinformation (LGéo) entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2008 repose sur cette base constitutionnelle.

La **loi fédérale sur la géoinformation** (LGéo) est issue de la stratégie pour l'information géographique au sein de l'administration fédérale adoptée par le Conseil fédéral en juin 2001 et du concept de mise en œuvre qui lui est associé. Elle régit les principes et les dispositions générales applicables à l'ensemble des géodonnées de base définies dans la législation fédérale. Elle joue le rôle d'une loi spécialisée dans les domaines de la mensuration nationale, de la géologie nationale et de la mensuration officielle.

Les **ordonnances sur la géoinformation** concrétisent la partie générale de la LGéo. Les ordonnances suivantes revêtent de l'importance dans le contexte du changement de cadre de référence MN03 ⇨ MN95 :

<i>OGéo</i>	Ordonnance sur la géoinformation
<i>OGéo-swisstopo</i>	Ordonnance de l'Office fédéral de topographie sur la géoinformation
<i>OMN</i>	Ordonnance sur la mensuration nationale
<i>OMN-DDPS</i>	Ordonnance du DDPS sur la mensuration nationale
<i>OMO</i>	Ordonnance sur la mensuration officielle
<i>OTEMO</i>	Ordonnance technique sur la mensuration officielle

L'article 5, alinéa 2 LGéo et les articles 4 à 7 et 53, alinéa 2 OGéo ont notamment une incidence concrète sur le changement de cadre de référence. Le système de référence planimétrique CH1903 associé au cadre de référence planimétrique MN03 et le système de référence planimétrique CH1903+ associé au cadre de référence planimétrique MN95 y sont définis comme étant les références planimétriques officielles des géodonnées de base. Les délais de transition pour le passage du système et du cadre de référence planimétriques de CH1903/MN03 à CH1903+/MN95 y sont en outre fixés. L'OGéo-swisstopo fournit les définitions des systèmes géodésiques de référence au positionnement local CH1903 et CH1903+. Le cadre de référence altimétrique officiel des géodonnées de base continue à se fonder sur le nivellement fédéral de 1902 (NF02).

Ainsi, la base légale que le groupe de travail « Mensuration officielle / mensuration nationale 95 (MO/MN95) » appelait de ses vœux au paragraphe 5.8 de son rapport final « Incidence de la nouvelle mensuration nationale 95 sur la mensuration officielle » est désormais une réalité.

4 Stratégie de swisstopo

4.1 Stratégie dans le cadre de l'INDG

Le Conseil fédéral a formulé la stratégie pour l'information géographique au sein de l'administration fédérale en 2001, sur proposition du groupe de coordination interdépartemental IG & SIG (GCS) de la Confédération. Dans ce document, la mise en place de l'INDG et la mise à disposition des géoinformations ont été reconnues comme des éléments centraux de l'infrastructure nationale, au même titre que les réseaux de transport ou de communication. Le potentiel de la géoinformation, renforcé par les moyens électroniques de gestion, de traitement et de diffusion de données actuellement disponibles, se caractérise par un niveau de performance très élevé, des informations conservant leur valeur dans la durée et des possibilités de combinaison presque illimitées.

Sa valeur en tant que facteur économique d'importance croissante a par ailleurs été soulignée. Aujourd'hui, la prise de décisions transparentes et compréhensibles n'est plus envisageable dans les domaines politique, économique et social en l'absence de telles informations. La disponibilité de géoinformations constitue une condition essentielle au bon fonctionnement d'une démocratie directe et à la participation des citoyennes et des citoyens aux décisions politiques et aux évolutions sociétales majeures d'un Etat moderne.

La stratégie pour l'information géographique au sein de l'administration fédérale a donc été définie ainsi :

- L'accès facilité et bon marché à l'information géographique fondamentale pour tous forme la base de la stratégie.
- La Confédération, en étroite collaboration avec les cantons, doit s'acquitter de la tâche officielle importante qu'est la garantie de la qualité des services de base en liaison avec l'information géographique.
- La protection des données personnelles, la sécurité des données et la défense de la propriété intellectuelle doivent être assurés.
- Des standards pour la documentation (métadonnées), la modélisation et l'échange de données (mécanisme d'accès et formats de données) doivent être définis et appliqués.

Pour atteindre ces objectifs, la Confédération construit une infrastructure de données géographiques nationale, veille à une politique de prix et de diffusion cohérente et transparente pour toute l'administration fédérale et encourage la formation de base et continue dans le domaine de la géomatique, ceci en collaboration et en coordination avec les cantons.

Au sein de la Confédération, la mise en place de l'INDG est coordonnée par le domaine COSIG (Coordination, services et informations géographiques) de l'Office fédéral de topographie swisstopo, de sorte que COSIG a également élaboré un concept de mise en œuvre de la stratégie fédérale pour l'information géographique [<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/docu/pub/kogis.html>].

Avec la définition récente d'un système de référence géodésique homogène et la mise à disposition des données de référence primordiales (notamment les points fixes et les stations permanentes GNSS comme cadre de référence géodésique) et de géoservices se présentant sous une forme actuelle (par exemple des services web et des services de positionnement), swisstopo met également en œuvre une partie du concept ainsi élaboré.

4.2 Stratégie de la mensuration officielle

Avec les bases de transformation (FINELTRA, « maillage triangulaire » CHENyx06), la mensuration nationale et la mensuration officielle ont créé les conditions propices à la mise à disposition de géoinformations dans les deux cadres de référence MN03 et MN95. Les services de diffusion officiels doivent garantir que la remise des données aux clients de la MO peut à

tout moment s'effectuer dans les deux cadres de référence (le nouveau et l'ancien).

L'objectif à long terme de la MO est de préparer ou de saisir ses données de telle façon qu'elles soient disponibles en MN95 et largement exemptes de déformations et de contradictions, donc homogénéisées ou en passe de l'être, de sorte qu'aucun ajustage local ne soit requis. La réalisation de cet objectif est étroitement liée aux progrès accomplis par les travaux de la MO et dépend fortement de financements publics.

Une MO couvrant intégralement le territoire et présentant peu de contraintes peut être obtenue par un processus en deux étapes, déjà décrit en détail dans le concept d'adaptation de la D+M [swisstopo, 2007].

Changement de cadre de référence

Toutes les données de la MO disponibles sous forme numérique seront transférées dans le cadre de référence MN95 à l'aide des bases de transformation élaborées.

MN95 sera introduit comme cadre de référence à validité juridique pour la MO. Après le passage de la MO au cadre de référence MN95, les données seront gérées dans le cadre de référence MN95. Autrement dit, les travaux de la MO (par exemple les mises à jour permanente et périodique) devront tous être exclusivement effectués dans le nouveau cadre de référence. Le changement de cadre de référence doit être achevé d'ici à 2016. Il va de soi que les cantons peuvent procéder au changement plus tôt pour profiter plus vite des avantages offerts par le nouveau cadre de référence. A cet effet, les travaux doivent être intégrés dans les conventions-programmes ordinaires conclues entre la Confédération et les cantons.

Elimination de déformations et de contradictions

Les données de la MO existante au standard de qualité MO93 sont soumises à un contrôle visant à déceler des contradictions et des déformations géométriques au niveau local et à les corriger le cas échéant. Deux documents servent de base pour l'exécution de tous les travaux de cet ordre : le concept d'adaptation précédemment mentionné et le « Guide pour l'application des transformations géométriques en mensuration officielle » [swisstopo 2008b]. La correction des entreprises MO93 existantes peut être réalisée dans le cadre d'une étape de travail distincte du changement de cadre de référence et peut débuter sans délai. Combiner ces travaux avec d'autres tâches (telles que l'homogénéisation ou la mise à jour périodique) est toutefois plus rentable économiquement.

Indépendamment de ces deux étapes, l'intégralité des mesures et des calculs en rapport avec les points fixes doit s'effectuer dans le cadre de référence MN95. Au terme de travaux de ce type, les coordonnées définitives peuvent au besoin être transformées dans le cadre de référence MN03 via CHENyx06.

5 Préparation du changement de cadre de référence MN03 → MN95

5.1 Organisation

L'ouverture, le 13 septembre 1993, de la première réunion du groupe de travail « MO/MN95 » a donné le coup d'envoi d'un intense processus de travail destiné à préparer le passage du cadre de référence de MN03 à MN95 dans la mensuration officielle. Ce qui avait démarré dans un mélange d'euphorie pour les uns et de profond scepticisme pour les autres s'est mué en un débat de fond et une phase de préparation qui auront duré quinze ans en définitive. Lorsqu'il publia son rapport final, le CC DG/MN95 avait accompli la tâche qui lui était assignée, à savoir la mise à disposition des bases requises pour le changement de cadre de référence. Revenir en détail sur les travaux réalisés dans chacun des groupes de travail dépasserait largement le cadre du présent rapport, raison pour laquelle les chapitres suivants récapitulent brièvement les résultats exposés en détail dans chacun des rapports finaux correspondants.

5.1.1 Vue d'ensemble du projet

Vue d'ensemble du calendrier et des tâches assignées à chacun des groupes de travail (GT)

Actions / phases	1993	94	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08
GT MO/MN95																
- Objectifs																
- Développement de FINELTRA																
- Communes de test (TI)																
- Test de Zoug																
- Journées d'information MO / utilisateurs de données																
- Procédure de consultation MO / utilisateurs de données																
- Rapport final																
GT DG/MN95																
- Organisation du projet																
- Sous-projet « MO »																
- Sous-projet « Utilisateurs »																
- Rapport final																
CC DG/MN95																
- Instructions pour le maillage Δ																
- Zone de test (BL/BS)																
- Etude données tramées (FHNW)																
- Tests / directives (canton VS)																
- Zone de test : rupture GE/VD																
- Décision : maintien de NF02																
- Instructions pour le maillage Δ																
- Echange d'expériences (cantons)																
- Concept d'adaptation de la MO																
- Rapport final																
- Direction (Dir) DG/MN95																

Tableau 5-1 : calendrier des travaux dans les différents groupes de travail

5.1.2 Groupes de travail

5.1.2.1 « MO/MN95 »

La L+T et la D+M étaient toutes deux d'avis qu'un débat de fond impliquant si possible tous les acteurs concernés devait être mené au sujet du changement de cadre de référence. C'est pourquoi le groupe de travail « MO/MN95 » a été mis en place par la D+M en septembre 1993. Sa tâche consistait à examiner les incidences de la MN95 sur la mensuration officielle, à fournir des bases de décision pour un éventuel passage de MN03 à MN95 et à préparer les outils requis pour la transformation.

En octobre 1995, un rapport revu et corrigé était disponible en deux langues. Il fut mis en consultation dès novembre 1995, adressé à cette occasion à un large public. Différentes journées d'information furent organisées avant la période de consultation et durant celle-ci afin de porter les constatations du rapport à la connaissance des professionnels de la mensuration. Sur les 80 destinataires de la consultation, 38 ont pris position et ont transmis des réponses favorables au principe du changement. Les réactions suivantes ont été enregistrées :

- il faut agir dans le sens d'un passage à MN95 ;
- les problèmes principaux à résoudre pour le passage sont l'*information*, les *bases légales*, les *finances*, la *prise en charge des coûts*, les *délais* et l'*intégration des utilisateurs* ;
- les étapes de réalisation proposées sont bien adaptées ;
- la méthode technique de la transformation par des éléments finis (FINELTRA, maillage triangulaire) est appropriée ;
- les coûts du passage ont été sous-estimés ;
- le financement n'est pas réglé de manière suffisante.

Les résultats de cette large consultation ont pu être pris en compte dans le rapport final « Incidence de la nouvelle mensuration nationale 95 sur la mensuration officielle » [Ammann et al. 1996]. Ce rapport a été considéré dès lors comme l'avant projet sur lequel le nouveau projet DG/MN95 devait s'appuyer. La première étape était quasiment achevée avec la publication du rapport en août 1996 de sorte que le groupe de travail, dans sa composition initiale, a été dissout.

Un sous-groupe de « MO/MN95 » a été chargé d'étudier les conditions du passage en MN95 sur le projet pilote de « Zoug » en particulier dans le but de mettre à l'essai les outils/moyens déjà élaborés (FINELTRA, maillage triangulaire, jeux de données ancien et renouvelé pour la ville de Zoug). Il se fondait sur les résultats d'une audition réalisée en mars 1995 avec des représentants de la Confédération, des cantons, des CFF, des PTT et des entreprises du secteur des technologies de l'information. Les résultats qui sont exposés en détail dans le rapport « Transformation entre les cadres de référence MN03 et MN95, projet « Transformation par éléments finis » – Test de Zoug » [Carosio et al. 1997] peuvent être résumés ainsi :

- les résultats confirment ceux d'un test similaire réalisé dans le Tessin par l'EPFZ [Tognacca et al. 1995];
- les résultats de la conversion sont de qualité insuffisante sans densification supplémentaire des points d'appui de la transformation ;
- un à deux points d'appui locaux de la transformation suffisent à obtenir des données homogènes de bonne qualité ;
- la qualité relative de la MO (précision entre points voisins) n'est améliorée que très partiellement par le passage à MN95, tandis que la qualité absolue, déterminante pour une mise en oeuvre optimale des nouvelles méthodes techniques de mesure, s'en trouve accrue.

5.1.2.2 « DG/MN95 »

Le 6 mai 1996, la D+M et la L+T ont conjointement pris la décision de principe de passer à MN95 en se fondant pour cela sur les enseignements déjà tirés, les résultats de la consultation et les recommandations du groupe de travail « MO/MN95 ». Un nouveau mandat et une nouvelle organisation de projet en ont résulté avec le groupe de travail « DG/MN95 » (Données géographiques / Mensuration nationale 1995).

Ce nouveau projet, lancé le 29 octobre 1996 par la D+M, avait pour but d'examiner en détail les aspects financier, organisationnel, juridique et temporel de l'opération, sur la base notamment du rapport final du groupe de travail « MO/MN95 » et du projet pilote de « Zoug ». Du point de vue de ses participants et de sa structure, le projet était conçu de manière à assurer la continuité avec ses devanciers et à offrir une représentation suffisante aux utilisateurs. Ainsi, des propositions relatives au financement, à l'organisation et au calendrier ont été élaborées par deux *sous-groupes* distincts, pour les *données de la MO* d'une part et pour les *données des utilisateurs* d'autre part. Les résultats obtenus par ces deux *sous-groupes* sont exposés en détail dans le rapport « Conséquences de la nouvelle mensuration nationale MN95 sur les données géographiques (DG/MN95) » [D+M 1998].

Dans le cas d'une conversion globale des données géographiques, pilotée de manière centralisée, concernant l'intégralité du territoire suisse ainsi que la totalité des cercles d'utilisateurs et réalisée dans un délai approprié, les équipes du projet évaluaient les dépenses totales à 150 millions de francs. Compte tenu du contexte politique de l'époque et des ressources financières réduites à disposition, la coordination du projet a considéré cette option comme étant non réalisable. Une « variante zéro » renonçant totalement à une conversion globale n'était pas à recommander, elle non plus. La solution des « Services de base » a donc été proposée en guise de compromis. Visant les seules données de la MO dans un premier temps, elle comprenait uniquement la mise à disposition générale des bases techniques nécessaires à la conversion. Le coût estimé de cette variante épurée s'élevait à 3,6 millions de francs. En matière d'organisation, tous s'accordaient à penser que seule une instance centrale dotée de compétences techniques et financières serait garante d'efficacité. Un consensus entre tous les acteurs impliqués était requis à cette fin, de même que des ressources humaines et financières supplémentaires.

Il s'agissait là de la situation initiale pour une nouvelle organisation de projet qui devait viser à :

- mettre en œuvre la variante retenue,
- créer les conditions organisationnelles et financières propices au futur changement de cadre de référence,
- mettre à disposition les instruments nécessaires à une transformation ponctuelle,
- résoudre les problèmes techniques encore en suspens et
- élaborer des directives générales.

5.1.2.3 « CC DG/MN95 »

Le projet CC DG/MN95 a été mis sur les rails par la décision de la direction de swisstopo du 22 février 2000 visant à garantir la disponibilité des géodonnées dans l'un ou l'autre des cadres de référence MN03 et MN95, au choix de l'utilisateur. Le passage à long terme de l'ensemble des données géographiques devait être envisagé et préparé. Le projet avait également pour but de déterminer s'il était pertinent et envisageable de passer du cadre de référence altimétrique NF02 à RAN95. Les tâches suivantes lui étaient assignées :

- conception et réalisation des bases de transformation définitives (maillage triangulaire au niveau de la MO) en collaboration avec les cantons ;
- preuve de la faisabilité de la transformation entre MN03 et MN95 et de la remise des

données au choix dans l'un ou l'autre des deux cadres de référence ;

- production et contrôle des aides techniques, notamment des logiciels, et définition des spécifications ;
- assistance aux développeurs de systèmes et reconnaissance des programmes ;
- création et vérification des bases légales adéquates ;
- élaboration d'une stratégie d'adaptation, assortie d'un calendrier et d'un plan de financement ;
- assistance et conseil des cantons ;
- élaboration d'un concept d'information et de communication ;
- conception et organisation de journées d'information et de formation.

En revanche, les objectifs suivants n'étaient pas assignés au projet :

- décider de mesures visant à améliorer la qualité présente des données de la MO et assurer la direction ou la coordination de telles mesures ;
- harmoniser les données et corriger des divergences issues de déterminations différentes en MN03 (exemple : limites territoriales).

Le centre de compétence (CC) se composait de deux représentants des cantons et d'un représentant de chacun des ensembles suivants : les Ingénieurs géomètres suisses (IGS), les producteurs de systèmes et les domaines Géodésie et Direction fédérale des mensurations cadastrales de swisstopo. Il était subordonné à une Direction générale de projet (DGP), rôle assumé par la direction de swisstopo. Le CC DG/MN95 était autorisé à faire appel à des experts, à mandater des intervenants extérieurs pour qu'ils conduisent des études ou à lancer des projets pilotes. Il avait également la possibilité de créer des sous-projets ou des sous-groupes de travail.

Un centre opérationnel (CO) DG/MN95 (cf. aussi § 6.3.5.4), dirigé par le processus des « Points fixes géodésiques » (GF) du domaine Géodésie de swisstopo, a été associé au centre de compétence. Au CO DG/MN95 incombaient la direction opérationnelle de la mise à disposition des bases techniques inhérentes au changement de cadre de référence ainsi que la coordination et la vérification des travaux effectués par les cantons. Le responsable du CO était aussi membre du centre de compétence. Les tâches suivantes étaient assignées à cette direction opérationnelle :

- être l'interlocuteur officiel envers l'extérieur
- élaborer les directives techniques pour l'établissement du maillage triangulaire, en collaboration avec le CC DG/MN95
- assurer l'assistance technique des cantons lors de l'élaboration du maillage triangulaire
- organiser des journées consacrées à l'échange d'expériences pour les responsables des points fixes des cantons
- élaborer la procédure de vérification et développer une couche métier SIG destinée à vérifier la qualité du maillage triangulaire
- vérifier et approuver les travaux effectués par les cantons
- analyser et préparer des indicateurs numériques qualifiant les maillages triangulaires cantonaux
- effectuer la synthèse des maillages triangulaires cantonaux
- procéder à la gestion centralisée des informations de base (définition du maillage triangulaire, coordonnées des points d'appui de la transformation (PAT) comprises) et d'éventuelles mutations

- spécifier les exigences posées aux logiciels, aux géoservices ainsi qu'au portail Internet dédiés au changement de cadre de référence MN03 ↔ MN95.

Le projet CC DG/MN95 a été officiellement clos lorsque la direction de swisstopo a approuvé à la date du 13 avril 2008 le rapport final du 4 avril 2008 [swisstopo 2008a]. Les résultats et les conclusions provenant du travail approfondi effectué par tous les acteurs impliqués, au niveau aussi bien du CC DG/MN95 que du centre opérationnel et de tous les services cantonaux du cadastre, constituent la colonne vertébrale du présent Doku 21. Il est donc renvoyé ici aux chapitres correspondants de ce document.

Toutefois, le changement de cadre de référence effectif n'a pas encore été exécuté. Un nouveau projet intitulé « Transfert de la MO --> MN95 » et lancé par swisstopo en mai 2008 a désormais pour objet de piloter et d'accompagner le transfert des données de la MO dans le nouveau cadre de référence planimétrique MN95.

swisstopo a enfin lancé l'action 09-02 « Large sensibilisation sur le thème du changement de cadre de référence » dans le cadre du programme *e-geo.ch*. Elle vise à faciliter le contact avec les partenaires d'*e-geo.ch* à ce sujet et à créer ensemble une base solide. Un concept de communication et sa mise en œuvre sont au cœur de ce projet. Ils ont pour objet d'attirer l'attention du public sur ce thème afin qu'il y soit sensibilisé suffisamment tôt, suivant les besoins qui sont les siens, de rendre compte des expériences acquises et d'offrir conseil et assistance.

5.1.3 Institutions et personnes impliquées

Le tableau suivant fournit une vue d'ensemble de toutes les personnes ayant directement participé aux différents groupes et sous-groupes de travail :

Groupe de travail	Fonction	Personnes	Institutions
GT MO/MN95 (1993-1996)	Direction	Ammann Richard	D+M
	Membres	Carosio Alessandro Dupraz Hubert † Durussel Raymond Jolidon André Just Christian Schneider Dieter Ulrich Werner Vogel Bruno	EPFZ EPFL IGS CSCC D+M Géodésie UTS Géodésie
Sous-groupe projet « Zoug »	Membres	Carosio Alessandro Durussel Raymond Just Christian Naepflin Godi Vogel Bruno	EPFZ IGS D+M SCC Zoug Géodésie
GT DG/MN95 (1996-1999)			
Comité du projet	Direction	Leupin Marco	D+M
	Membres	Gubler Erich Messmer Werner Franken Peter	Géodésie CSCC GISWISS

Groupe de travail	Fonction	Personnes	Institutions
Coordination du projet	Direction	Amstein Jean-Philippe	D+M
	Membres	Durussel Raymond Mumenthaler François Mäder H. Menzi Ruedi de Quervain Christoph	IGS GISWISS Economie Communication Droit
Sous-projet « MO »	Direction	Durussel Raymond	IGS
	Membres	Just Christian Signer Thomas † Robadey Maurice Wicki Fridolin Baumgartner Urs Carosio Alessandro	D+M Géodésie CSCC CSCC Villes EPHZ
Sous-projet „Utilisateurs“	Direction	Mumenthaler François	GISWISS
	Membres	von Däniken Peter Heggli Sigi Jelk Yves Junet Marc	Canton SO Canton SG Ville de Fribourg Ville de Genève
CC DG/MN95 (2000-2008)	Direction générale du projet	Amstein Jean-Philippe (-> 30.09.04) Wicki Fridolin (01.10.04 ->) Schneider Dieter (-> 30.04.06) Wiget Adrian (01.05.06 ->)	Direction de swisstopo
	Direction	Wicki Fridolin (-> septembre 2005) Scherrer Markus (octobre 2005 ->)	D+M D+M
	Membres	Ammann Richard Messmer Werner (-> janvier 2005) Oswald Walter (février 2005 ->) Durussel Raymond Thalmann Hugo Signer Thomas † (-> septembre 2002) Santschi Werner (janvier 03 – juin 06) Kistler Matthias (janvier 2007 ->)	CSCC CSCC CSCC IGS a/m/t SW Service AG Géodésie Géodésie Géodésie
CO DG/MN95		Signer Thomas † (-> septembre 2002) Santschi Werner (janvier 03 – déc. 04) Kistler Matthias (janvier 05 – déc. 06) Burkard Michael (janvier 2007 ->)	Géodésie (Processus GF)

Tableau 5-2 : vue d'ensemble des participants des divers groupes de travail

5.1.4 Journées d'échange d'expériences avec les cantons

Depuis un certain temps déjà, le processus des « points fixes géodésiques » organisait régulièrement des journées consacrées à échanger des expériences avec les collègues des services cantonaux du cadastre, en lien avec la vérification des points fixes de catégorie 2. Cette plateforme offrait donc une excellente occasion à tous les acteurs impliqués d'échanger directement des informations et de connaître les besoins des uns et des autres en matière de changement de cadre de référence. Les cantons ont été subdivisés en sous-groupes afin qu'un véritable échange soit possible et que les résultats obtenus puissent être présentés de façon très concrète. Les journées ont à chaque fois été organisées de manière décentralisée, dans la région du sous-groupe concerné. En moyenne, six ou sept cantons étaient représentés à chacune de ces journées. Globalement bien fréquentées, elles ont été vues par les participants comme un mélange idéal de formation continue, d'échange d'idées et de promotion des contacts intercantonaux. Le tableau suivant détaille les journées organisées et fournit un bref aperçu des thèmes qui y ont été abordés, en lien avec le changement de cadre de référence.

Année	Lieu de conférence	Thèmes liés au changement de cadre de référence
1996	Coire, Fribourg, Lucerne, Soleure, Zurich	Présentation des résultats du groupe de travail « MO/MN95 » : tests, rapports, FINELTRA
1999	Aldorf, Lucerne, Neuchâtel, Olten, Saint-Gall	Etat des travaux du groupe de travail DG/MN95, indications pour l'avenir, débat portant sur la numérotation du maillage triangulaire, présentation des concepts de points fixes cantonaux
2001	Genève, Lucerne, Saint-Gall, Zurich	Informations détaillées sur le projet CC DG/MN95, concepts de points fixes cantonaux, organisation, marche à suivre et critères pour le maillage triangulaire, informations relatives à RAN95
2003	Airolo, Fribourg, Lucerne, Olten, Saint-Gall	Rapports intermédiaires des cantons sur le maillage triangulaire, explication des consignes relatives à ce maillage, instructions portant sur les corrections, tolérances sur les points d'appui de la transformation (PAT) et les points de contrôle (PC), nouveaux développements de FINELTRA
2004	Olten, Schwyz, Yverdon-les-Bains, Zurich	Présentation de l'avancement des travaux relatifs aux maillages triangulaires dans les cantons, vérification et gestion du maillage triangulaire par swisstopo : remise des dossiers et des données, révision des directives sur les PF, instructions aux géomètres, fiche technique sur la détermination des altitudes par GPS dans la MO
2005	Neuchâtel, Olten, Saint-Gall, Zoug	Vue d'ensemble de l'état des travaux et de l'expérience acquise par les cantons, coordination du maillage triangulaire aux limites des cantons, gestion homogène des fichiers dat FINELTRA, mise en œuvre de MN95 en mensuration parcellaire, présentation des outils SIG (FINELTRA2ArcGIS) d'élaboration et d'analyse du maillage triangulaire
2006	Flüelen, Genève, Soleure, Zurich	Présentation des résultats des maillages triangulaires cantonaux à l'aide de FINELTRA2ArcGIS, adaptation le long des limites cantonales, passage à MN95 (stratégie de la MO, bases légales, horizon temporel, corrections globales/locales, concept, financement)
2007	Bâle, Delémont, Frauenfeld, Lucerne	Présentation de CHENyx06, concept de transfert revu et corrigé pour la MO, portail Internet sur le changement de cadre de référence avec le logiciel REFRAME

Tableau 5-3 : vue d'ensemble des journées vouées à l'échange d'expériences

Outre les journées dédiées à l'échange d'expériences au cours desquelles le personnel en charge des travaux, les vérificateurs et les représentants du CC DG/MN95 ont généralement pu conduire des discussions approfondies, les manifestations de la CSCC ont régulièrement intégré des exposés portant sur l'état d'avancement des travaux et les exigences posées aux cantons.

5.2 Outils

5.2.1 Outil SIG pour la création interactive de définitions de maillages triangulaires

Le service du cadastre du canton d'Argovie a développé une extension pour ArcView (version 3.2.1) permettant la définition interactive du maillage triangulaire ainsi que l'exportation des données des triangles dans le format prédéfini de FINELTRA [AGIS 2001]. En amont, le logiciel a besoin d'une couche « Points fixes » avec des coordonnées en MN03 et en MN95. La définition des triangles s'effectue par la sélection graphique de points fixes existants. Le logiciel propose également un test de vraisemblance capable de déceler des définitions de triangles erronées (exemple : des triangles en recouvrement). Des aides à la correction des erreurs détectées sont mises à disposition. Le fichier en aval est un fichier d'entrée FINELTRA complet (fichier ASCII). Les informations transmises lors de l'exportation (output) peuvent être définies de manière conviviale dans un dialogue interne à l'application.

5.2.2 Outil SIG servant à la documentation et à l'analyse des maillages triangulaires cantonaux

En collaboration avec le centre SIG de swisstopo, le centre opérationnel DG/MN95 a développé une couche métier pour ArcGIS (version 9.1) permettant de visualiser et d'analyser les maillages triangulaires cantonaux, les paramètres de déformation de la transformation affine et les résidus sur les points de contrôle. A cette fin, le fichier du maillage triangulaire (*.dat), le procès-verbal de FINELTRA (*.prn) et le tableau comprenant les paramètres de déformation (*.txt) sont lus par une base de données. L'analyse s'appuie entre autres sur les données de base suivantes : la totalité des PFP1 et des PFP2 du service de données sur les points fixes (FPDS), l'état de la mensuration officielle selon l'AMO, le maillage triangulaire au niveau de la mensuration nationale (FINELTRA-MN), les zones urbanisées issues de VECTOR 25.

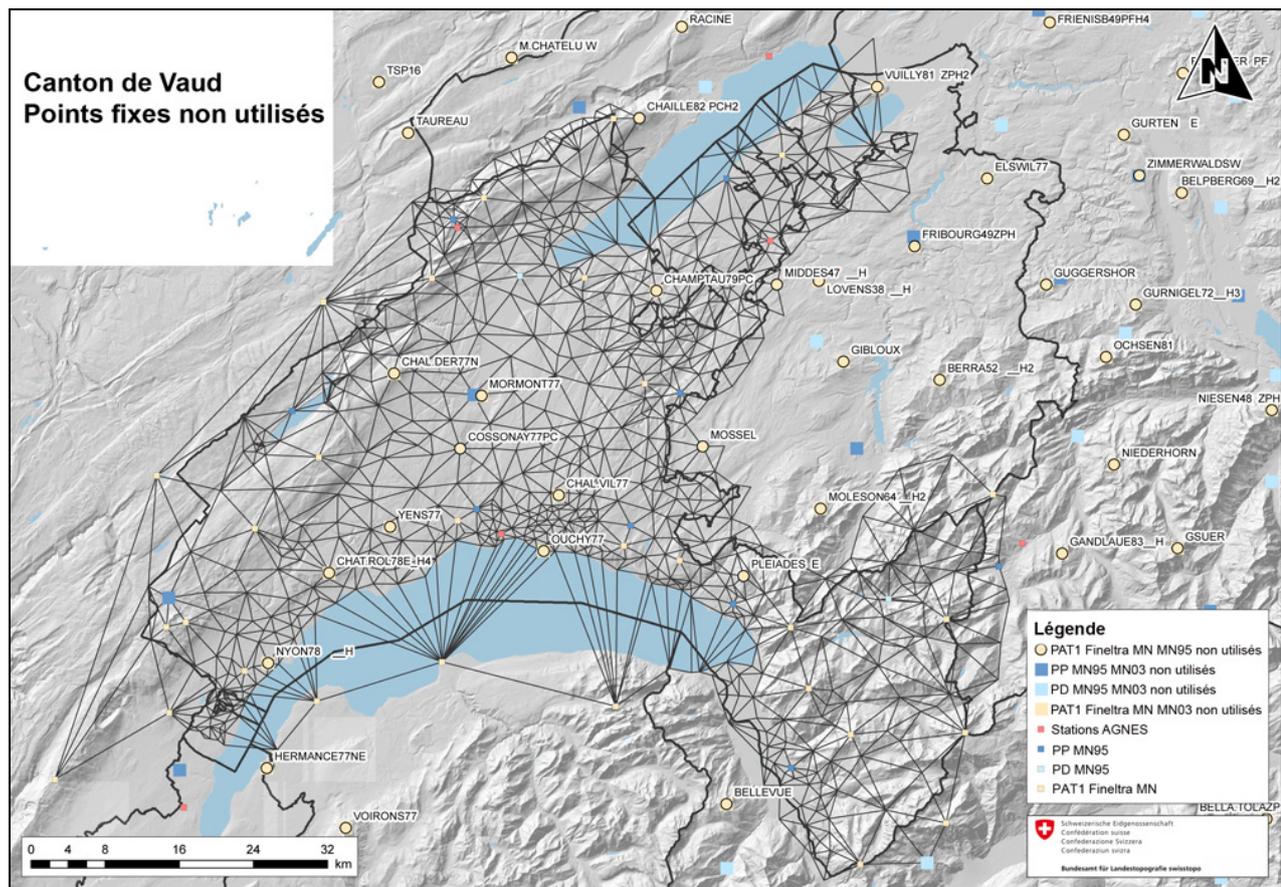


Figure 5-1 : possibilités d'analyse offertes par FINELTRA2ArcGIS : PFP1 non utilisés (stations AGNES, points MN95, PAT1 et PFP1) dans la première version du maillage triangulaire du canton de Vaud

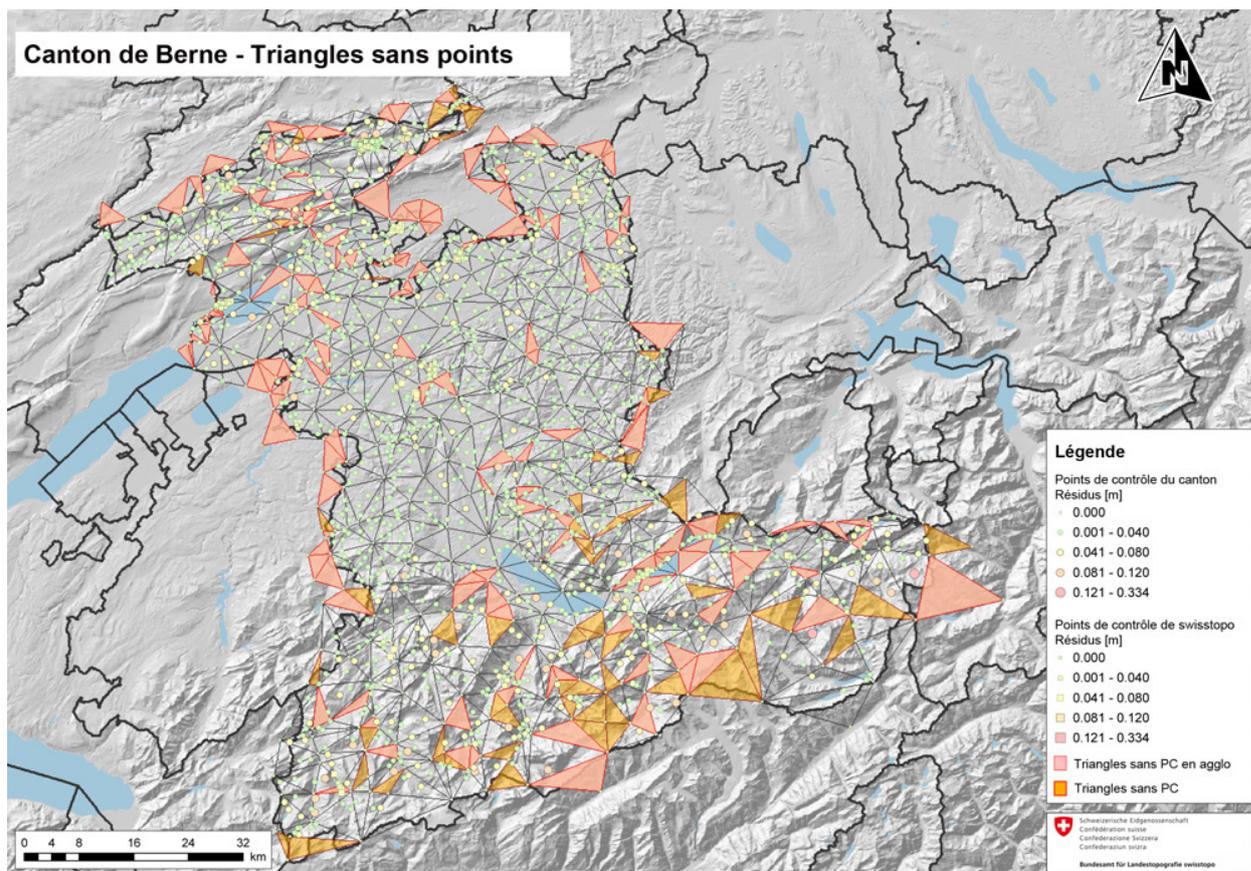


Figure 5-2 : possibilités d'analyse offertes par FINELTRA2ArcGIS : triangles sans points de contrôle dans le canton de Berne, distinction zones à bâtir / zones agricoles

Les autres possibilités d'analyse et de visualisation sont récapitulées au paragraphe 6.3.3 « Justification de la qualité à l'aide de points de contrôle », dans le mode d'emploi de FINELTRA2ArcGIS » [Kistler 2006] et dans les actes du colloque de swisstopo du 26 janvier 2007 [Kistler et al. 2007].

5.3 Zones de test

5.3.1 Tessin

Les premiers travaux effectifs destinés à tester la capacité du programme FINELTRA à être utilisé en pratique ont été réalisés dans les deux communes tessinoises de « **Lugaggia** » et de « **Ponte Capriasca** », dans le cadre de la session de 1994 des travaux pratiques de diplôme en mensuration de l'EPF Zurich, dirigée par le professeur Dr A. Carosio dans la région du Sotto-Ceneri. Les résultats complets figurent dans le rapport 251 de l'IGP [Tognacca 1995]. Cette étude examine notamment les méthodes de transformation qu'il est possible d'utiliser ainsi que le nombre requis de points fixes devant également être déterminés dans le nouveau cadre de référence MN95 en leur qualité de points d'appui de la transformation (PAT). Ces points exercent une forte influence sur la qualité de la transformation et sur les coûts.

La zone de test de « **Lugaggia** » est un lot de mensuration entièrement numérique, mesuré il y a quelques années à peine et disposant donc de coordonnées fiables comme d'une matérialisation impeccable des points fixes. Les investigations menées dans la zone de « **Ponte Capriasca** » reposent sur une ancienne mensuration semi-graphique, de qualité bien inférieure.

Une étude comparative des programmes de transformation TRANSINT (interpolation) et FINELTRA a été réalisée sur la base de 5 variantes (A-E), la densification optimale du maillage triangulaire existant jusqu'alors (mensuration nationale, triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre) a été évaluée et son adéquation pour ces lots de mensuration de qualité très diverse a été analysée.

Les différences entre les deux **méthodes de transformation** se sont révélées très faibles dans l'ensemble, de sorte que les résultats obtenus sont pratiquement équivalents. Les gros avantages de FINELTRA (transformation affine par des éléments finis) par rapport à TRANSINT (transformation de similitude ou transformation affine avec compensation robuste et interpolation selon la moyenne arithmétique) sont d'ordre organisationnel et administratif. En cas de densification du réseau de points d'appui dans un triangle, aucune incidence n'en résulte pour les points des triangles environnants si FINELTRA est utilisé, ce qui n'est pas le cas avec TRANSINT.

La comparaison des **variantes de densification** A à E, présentant une densification progressive des points d'appui, du réseau de triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre (= variante A avec deux triangles) jusqu'à la totalité des points d'appui mesurés (= variante E avec 14 triangles), a clairement mis en lumière la tendance escomptée : les écarts les plus faibles entre les coordonnées effectivement mesurées et celles transformées sont enregistrées dans les triangles les plus petits (variante E). Il a été tenté, à partir de ces résultats, de déduire des grandeurs caractéristiques potentiellement importantes pour le choix des triangles. Elles sont récapitulées sur le tableau suivant :

Grandeur caractéristique	Valeur indicative max.
<ul style="list-style-type: none"> Distance séparant le centre de gravité de la zone concernée du point d'appui de la transformation le plus proche 	< 2 km
<ul style="list-style-type: none"> Distance moyenne du dit centre de gravité jusqu'aux trois points d'appui 	< 8-9 km
<ul style="list-style-type: none"> Superficie du triangle 	< 80 km ²
<ul style="list-style-type: none"> Longueur moyenne d'un côté de triangle 	< 17 km

Tableau 5-4 : grandeurs caractéristiques pour l'évaluation du choix des triangles

La comparaison des deux **types d'entreprises** de « Lugaggia » et de « Ponte Capriasca » a clairement mis en évidence le fait attendu que la zone mesurée de manière entièrement numérique fournit de bien meilleurs résultats que l'entreprise semi-graphique, pour chacune des variantes considérées. Suivant les exigences de qualité à satisfaire par les coordonnées, les transformations réalisées dans l'ancienne entreprise semi-graphique peuvent elles aussi être jugées comme étant utilisables. Si l'on fixe par exemple une valeur limite de 5 cm pour les écarts moyens entre les coordonnées mesurées et transformées, les mêmes variantes de densification sont utilisables dans les deux entreprises. Si l'on réduit cette valeur limite à 3 cm, différentes variantes fournissant des résultats satisfaisants dans l'entreprise entièrement numérique ne sont plus utilisables dans l'entreprise semi-graphique. Le standard de qualité de l'entreprise de mensuration concernée et les niveaux de tolérance de la MO à appliquer sont donc déterminants pour la densification du maillage triangulaire.

Cette première zone de test a permis de tirer de très précieux enseignements qui ont pu être pris en compte par les études ultérieures. En résumé, on peut observer que des écarts de 20 à 30 centimètres peuvent être constatés sur les coordonnées transformées sans densification du maillage triangulaire de la mensuration nationale (triangulation de 1^{er}/2^{ème} ordre, FINELTRA MN). Dans bien des cas, une densification de portée relativement réduite (1 à 2 points supplémentaires par maille) permet en revanche de ramener les écarts sur les coordonnées transformées à des valeurs de 2 à 5 cm.

5.3.2 Zoug

A la même époque (1995/96), le cadastre de la ville de Zoug, en cours de rénovation, fournissait des données idéales pour un test de plus grande ampleur. Les données originales dataient des années 30, le renouvellement du réseau de PFP2 avait été achevé en 1995 et le réseau renouvelé des PFP3 était aussi disponible pour ce lot de test. Par ailleurs, la couche des biens-fonds et bon nombre de bâtiments existaient déjà sous forme numérique. Le « test de Zoug » visait d'une part à comparer les deux outils de transformation FINELTRA et TRANSINT avec différentes combinaisons de points d'ajustage et à étudier d'autre part les conséquences d'une transformation sur les propriétés géométriques. Les résultats sont non seulement très probants mais restent pertinents aujourd'hui pour la plupart d'entre eux. Ils peuvent être consultés dans le rapport détaillé « Projet Transformation par éléments finis - Test de Zoug » [Carosio et al. 1997] rédigé par le sous-groupe du GT MO/MN95. Ses principaux résultats sont récapitulés ci-dessous :

<ul style="list-style-type: none"> • Sans densification locale par des points complémentaires, la conversion en MN95 à l'aide de points de triangulation éloignés d'ordre supérieur présente des insuffisances.
<ul style="list-style-type: none"> • Pour des données homogènes de bonne qualité, une conversion « absolue » est possible avec un minimum de points d'ajustage locaux supplémentaires.
<ul style="list-style-type: none"> • La qualité d'une entreprise transformée en MN95 dépend de la qualité originale en MN03.
<ul style="list-style-type: none"> • Les anciennes coordonnées originales peuvent être transformées (sans gain de qualité). Des mesures de renouvellement permettent d'améliorer considérablement leur intégration, mais pas suffisamment toutefois en regard des exigences de la MO93.
<ul style="list-style-type: none"> • TRANSINT convient bien à l'exécution de renouvellements locaux en MN03.
<ul style="list-style-type: none"> • FINELTRA convient bien à la conversion MN03 ↔ MN95.
<ul style="list-style-type: none"> • Les propriétés géométriques (longueur, direction, échelle et surface) des objets de la MO (parcelles et bâtiments) sont altérées par FINELTRA et TRANSINT, mais dans des proportions parfaitement acceptables.
<ul style="list-style-type: none"> • Les grandes figures géométriques subissent des déformations tolérables.
<ul style="list-style-type: none"> • Une conversion suivant une nouvelle détermination des points d'ajustage locaux réduit considérablement les déformations, de sorte qu'elles sont négligeables.

Tableau 5-5 : résultats issus du « Test de Zoug »

Ces résultats ont confirmé et complété ceux obtenus au Tessin. Différentes stratégies et divers scénarios à utiliser pour la conversion ont été élaborés sur cette base et une trame a été proposée pour le contenu des futures directives. Des indications importantes en ont également été déduites concernant l'utilisation de FINELTRA en conditions réelles.

5.4 Particularités du maillage triangulaire

5.4.1 Zone de rupture GE/VD

Il existe, dans le cadre de référence MN03, une différence de coordonnées de 30 cm entre les cantons de Vaud et de Genève, présente sur tout le territoire cantonal. Cet écart qui se traduit par des chevauchements et des lacunes le long de la limite cantonale, a les origines suivantes :

- Lors de la révision de la triangulation de 1^{er} et de 2^{ème} ordre en 1977, les coordonnées du PFP1 « La Dôle » ont été modifiées d'environ 30 cm. Dans le canton de Vaud, la mensuration parcellaire s'est effectuée sur cette base, au terme de la reprise de la triangulation de 3^{ème} et de 4^{ème} ordre.
- La triangulation du canton de Genève n'a elle, jamais été adaptée jusqu'à ce jour. La différence d'environ 30 cm en MN03 s'étend à tout le canton de Genève. En conséquence, des différences de coordonnées en MN03 s'observent tout au long de la limite cantonale, avec des valeurs extrêmes de 23 cm et 37 cm avec des lacunes ou des recouvrements.

Cette question a fait l'objet d'un traitement intensif par le CC DG/MN95. Une solution pragmatique a été recherchée le long de la limite cantonale, permettant le passage au cadre de référence MN95. La discussion a porté sur les solutions suivantes :

- élimination des écarts de 30 cm sur l'ensemble du canton de Genève avant le passage à MN95,
- développement d'un module logiciel identifiant les données genevoises et les corrigeant de 30 cm en MN03,
- développement d'un maillage FINELTRA spécifique au canton de Genève avec des coordonnées MN03 du canton de Genève pour les points d'appui de la transformation (PAT).

La première solution présente un double inconvénient : le caractère dispendieux de l'opération et des conséquences affectant tous les utilisateurs. Le désavantage de la deuxième et de la troisième solution réside en revanche dans le traitement particulier dont les données genevoises font l'objet. Ces trois solutions ont été rejetées par le CC en raison des inconvénients majeurs qu'elles présentaient, au profit de la solution suivante, finalement mise en œuvre dans le maillage FINELTRA :

- Les coordonnées du canton de Vaud ont été reprises telles quelles, en MN03 comme en MN95. Tous les points de limite cantonale ont été choisis comme PAT.
- Dans le canton de Genève, les recouvrements avec le canton de Vaud (chevauchement maximal de 37 cm) existant en MN03 sur la limite cantonale, ont été éliminés ("découpés"). Pour éviter totalement les recouvrements, une zone tampon de 3 cm a été instaurée, d'où une lacune (un « no man's land ») entre les limites des cantons de Vaud et de Genève (cf. figure 5-3). Les points limites transformés qui se trouvent à 3 cm exactement des points de limite cantonale vaudois en MN03 sont utilisés comme PAT dans le maillage triangulaire de FINELTRA.

Les explications détaillées relatives à cette solution sont fournies dans le document du CC DG/MN95 [swisstopo 2002] et dans le rapport de vérification VD/GE [swisstopo 2004b].

A l'époque, le CC a renoncé à tout maillage au sein du no man's land, les déformations dans cette zone étant très importantes. Dans le contexte cependant de l'achèvement du maillage triangulaire national, ce sujet a été repris en main par les vérificateurs de la Géodésie. Il a été décidé, en accord avec R. Durussel, de couvrir le no man's land par un maillage intégré dans le jeu de données de transformation. La transformation assise sur le maillage triangulaire officiel de FINELTRA couvre de la sorte la totalité du territoire. Le maillage du no man's land a été réalisé par la Géodésie en décembre 2006, les travaux étant suivis par R. Durussel.

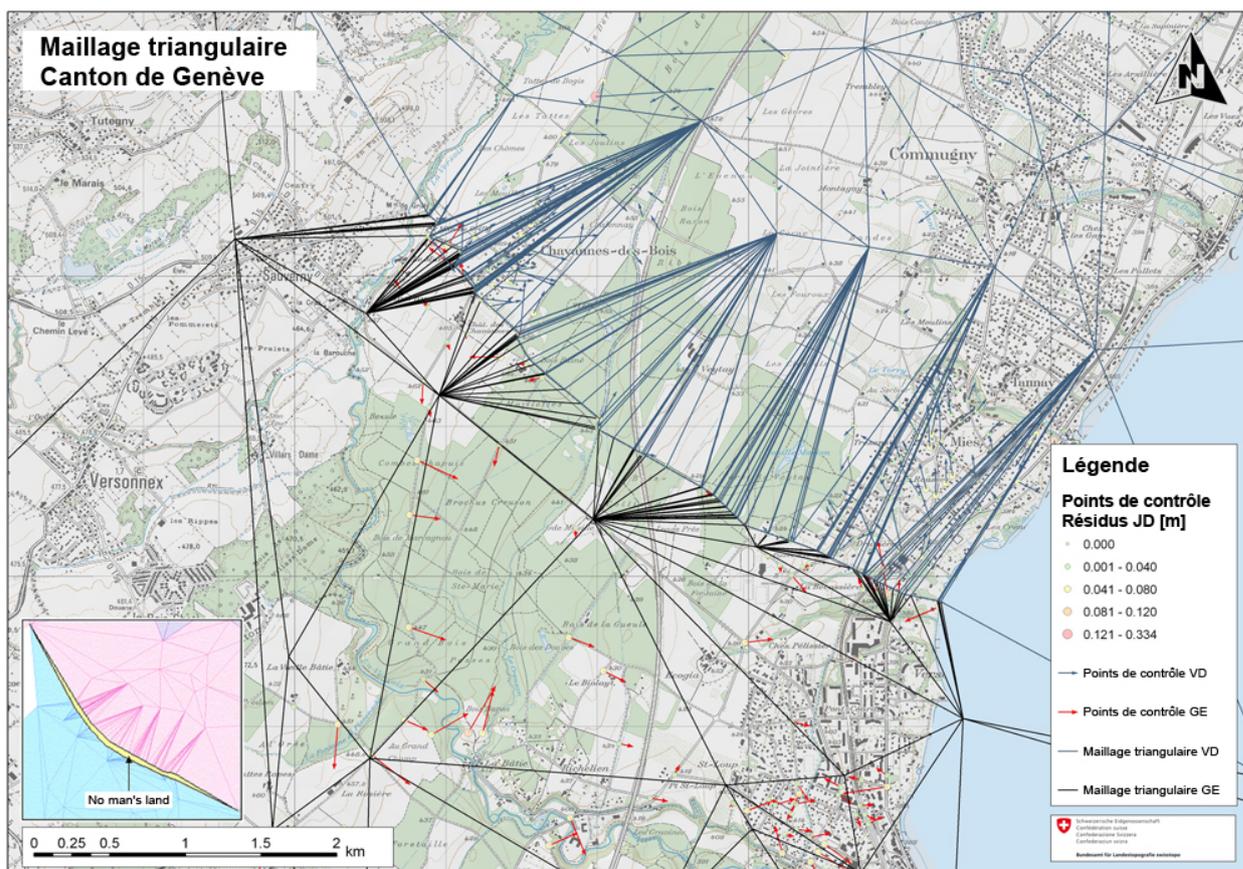


Figure 5-3 : zone de rupture GE/VD avec le « no man's land », le maillage triangulaire et les points de contrôle

Pour les applications exigeant des précisions de quelques centimètres au décimètre, il convient de tenir compte des particularités suivantes pour la transformation le long de la zone de rupture, en raison de la solution retenue :

- Du côté vaudois, la transformation est possible sans restriction particulière en matière de précision. La précision de transformation peut être estimée à l'aide de la carte des précisions, déduite de façon empirique.
- La transformation n'est pas représentative au sein du no man's land. Les objets éventuellement situés dans cette zone sont transformés avec un facteur de déformation 10 au maximum (10 millions de ppm). Ces fortes déformations sont par ailleurs responsables des difficultés susceptibles d'apparaître lorsque les calculs sont effectués avec d'anciennes versions du logiciel FINELTRA.
- Une bande d'environ 40 cm de largeur courant tout au long du côté genevois de la limite cantonale ne peut pas être transformée en MN95 avec les coordonnées MN03 genevoises. La transformation inverse ne peut produire que des coordonnées MN03 du canton de Vaud. En conséquence, tout point se trouvant du côté genevois à 40 cm au plus de la limite cantonale ne peut pas être transformé directement de MN03 en MN95 et inversement à l'aide de FINELTRA. Il doit être calculé manuellement.
- La transformation d'éléments géométriques à cheval sur la limite cantonale nécessite un traitement individuel en raison des fortes déformations déjà soulignées.

Des points de contrôle virtuels avec des résidus supérieurs à 12 cm ont été introduits dans le no man's land afin de montrer clairement aux utilisateurs que la transformation au sein de cette zone fournit une solution non représentative. Sur la carte des précisions dressée (cf. § 6.3.3), la zone de rupture est donc présentée comme étant une zone critique.

Le canton de Vaud a fait passer toute une batterie de tests à ses triangles situés sur la limite cantonale. Ils ont ainsi subi des tests portant sur la déformation des objets géométriques. Le tableau suivant présente les principaux résultats de ces tests.

Test	Résultat	Remarque
Ecart par rapport à une droite	Ecart maxi = 3 mm	Orientation de la droite : nord-ouest, sud-est
Ecart par rapport à une droite	Ecart maxi = 1 mm	Orientation de la droite : sud-ouest, nord-est
Différence de surface (parcelles)	Echelle maxi = 103,5 ppm	Différence entre la surface en MN03 et en MN95
Différence de surface (bâtiments)	Echelle maxi = 110,7 ppm	Différence entre la surface en MN03 et en MN95
Déformation angulaire (bâtiments)	Déformation maxi = 3,7 mgon	

Tableau 5-6 : récapitulatif des tests portant sur des éléments géométriques

Aucun test similaire n'a été réalisé pour les triangles en limite de canton du côté genevois. A ce jour, aucune investigation n'a encore porté sur l'ordre de grandeur à craindre pour les écarts, les différences de surface et les déformations angulaires subis par des objets à cheval sur la limite cantonale. Des interventions manuelles seront donc inévitables dans ce cas, vu l'absence de toute valeur empirique.

5.4.2 Canton de Bâle-Ville

Dans le canton de Bâle-Ville, le centre-ville compte parmi les rares zones suisses à se voir affecter le niveau de tolérance NT 1. Cette situation a conduit le service cantonal du cadastre à effectuer, en collaboration avec la Haute école supérieure du nord-ouest de la Suisse (*FHNW, Fachhochschule Nordwestschweiz*), une compensation de diagnostic globale sur l'intégralité du territoire cantonal [Schütz et al. 2002 ainsi que Brühlmann 2004]. Les conclusions de ces deux mémoires de diplôme de même que les contraintes relevées à la limite du canton [Hägler et al. 2003 ainsi que Meier et al. 2003] ont finalement incité le service cantonal du cadastre à transférer en MN95 (ou à corriger) les géodonnées de base de l'ensemble du canton de Bâle-Ville au moyen d'une interpolation. Cf. également la prise de position du CO CC DG/MN95 du 24 octobre 2005 à ce sujet.

En Suisse, une interpolation couvrant l'intégralité d'un canton est plutôt exceptionnelle et n'est pas à recommander aux autres cantons. En effet, elle requiert non seulement des moyens financiers importants, mais suppose également que toutes les géodonnées de base (pas uniquement les données de la MO) soient corrigées via le même algorithme et avec les mêmes points d'ajustage, condition que le service cantonal du cadastre de Bâle-Ville peut remplir assez aisément puisqu'il assume parallèlement la responsabilité du centre SIG cantonal.

5.4.3 Canton du Valais

En Valais, le maillage triangulaire comprend des triangles dont les formes manquent d'homogénéité en comparaison des autres cantons. La raison en est simple : la première version a été établie de manière synthétique (donc automatique) à l'aide d'un logiciel sans que l'histoire des œuvres cadastrales soit prise en compte. Cette lacune a été comblée dans les versions ultérieures. Le manque d'homogénéité dans la forme des triangles a en revanche subsisté, dû à la répartition irrégulière des points d'appui.

5.4.4 Rafzer Feld / Schaffhouse

La zone de rupture entre les cantons de Zurich et de Schaffhouse apparaît très bien dans le dossier de vérification du canton de Zurich. Elle a été modélisée de façon similaire à celle existant à la limite entre les cantons de Genève et de Vaud, soit à l'aide de triangles virtuels étroits. Pour comprendre l'origine de cette zone de rupture, il faut revenir aux origines de la

triangulation de 3^{ème} et de 4^{ème} ordre du canton de Schaffhouse. Les bases géodésiques du canton de Schaffhouse ne satisfaisant pas aux exigences posées, la triangulation cantonale a fait l'objet d'une révision entre 1988 et 1990. Des mesures GPS de swisstopo servirent à cette fin. La torsion initialement présente dans la triangulation se retrouvait dans le réseau révisé en raison du choix des points d'ajustage. Les détails afférents peuvent être consultés dans le document intitulé « Neues LFP1-Netz im Kanton Schaffhausen, 1988 – 1990 » [swisstopo 1992].

6 Changement de cadre de référence MN03 → MN95

6.1 Possibilités de mise en oeuvre en fonction des exigences de précision

Le changement de cadre de référence MN03 → MN95 peut s'effectuer de diverses manières. Les exigences de précision à respecter par les géodonnées et donc la précision de la transformation conditionnent la méthode utilisée. Le principe suivant s'applique : plus l'algorithme est précis, mieux les déformations présentes en MN03 peuvent être éliminées; il peut en résulter une perte de propriétés géométriques et/ou topologiques. L'utilisateur devrait donc choisir la solution convenant le mieux à son jeu de données parmi un éventail de méthodes. La figure 6-1 regroupe les méthodes, les applications et les outils disponibles :

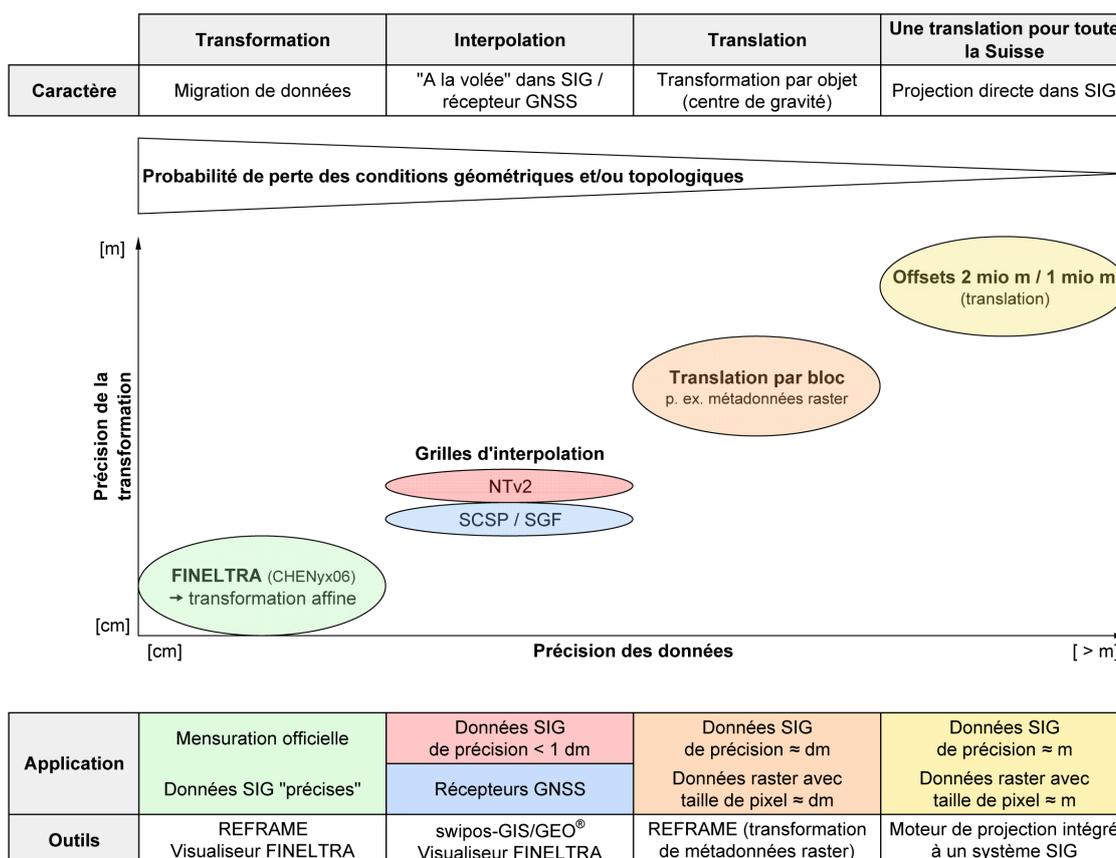


Figure 6-1 : possibilités de mise en oeuvre du changement de cadre de référence en fonction de la précision des données et avec indication de l'ampleur des déformations

Les méthodes suivantes sont mises en oeuvre pour les principales géodonnées de base de swisstopo :

- exception faite des zones au sein desquelles une correction locale (interpolation) sera requise, les *données de la mensuration officielle* seront vraisemblablement toutes transformées à l'aide de FINELTRA (donc à l'aide de l'algorithme le plus précis),
- les *méthodes d'interpolation au sein d'une grille* sont non seulement utilisées par des SIG mais également, et surtout, sur des *récepteurs GNSS* pour le positionnement en temps réel, la perte de précision étant négligeable par rapport à FINELTRA pour la majeure partie du territoire suisse (cf. § 6.6),
- la *translation en bloc* est utilisée pour les orthophotos de SWISSIMAGE (*données tramées*) (cf. chapitre 7),
- les *données vectorielles* de VECTOR25 sont transférées en MN95 au moyen d'une simple *translation de 2 millions / 1 million de mètres*.

On notera aussi que la solution FINELTRA repose sur un format propriétaire, tandis que l'interpolation au sein d'une grille se fonde sur le format standard NTv2. De même, la translation 2 millions / 1 million de mètres est acceptée en standard par la plupart des SIG. Dans le cas des données tramées, la translation en bloc permet d'éviter un rééchantillonnage de l'image et donc une perte de qualité potentielle.

6.2 Maillage triangulaire pour FINELTRA au niveau de la mensuration nationale

Dans la 4^{ème} partie [Chablais et al. 1995], la 8^{ème} partie [Signer et al. 2001] et la 9^{ème} partie [Signer et al. 1999] du rapport sur la MN95 de la série « Berichte aus der L+T », les travaux et les analyses visant à corriger les déformations de la triangulation nationale existante de 1^{er} / 2^{ème} ordre sont documentés en détail. Ces études servent de base pour le maillage triangulaire à l'échelle suisse au niveau de la mensuration nationale. La figure suivante présente les déformations relevées sur les points d'appui de la transformation.

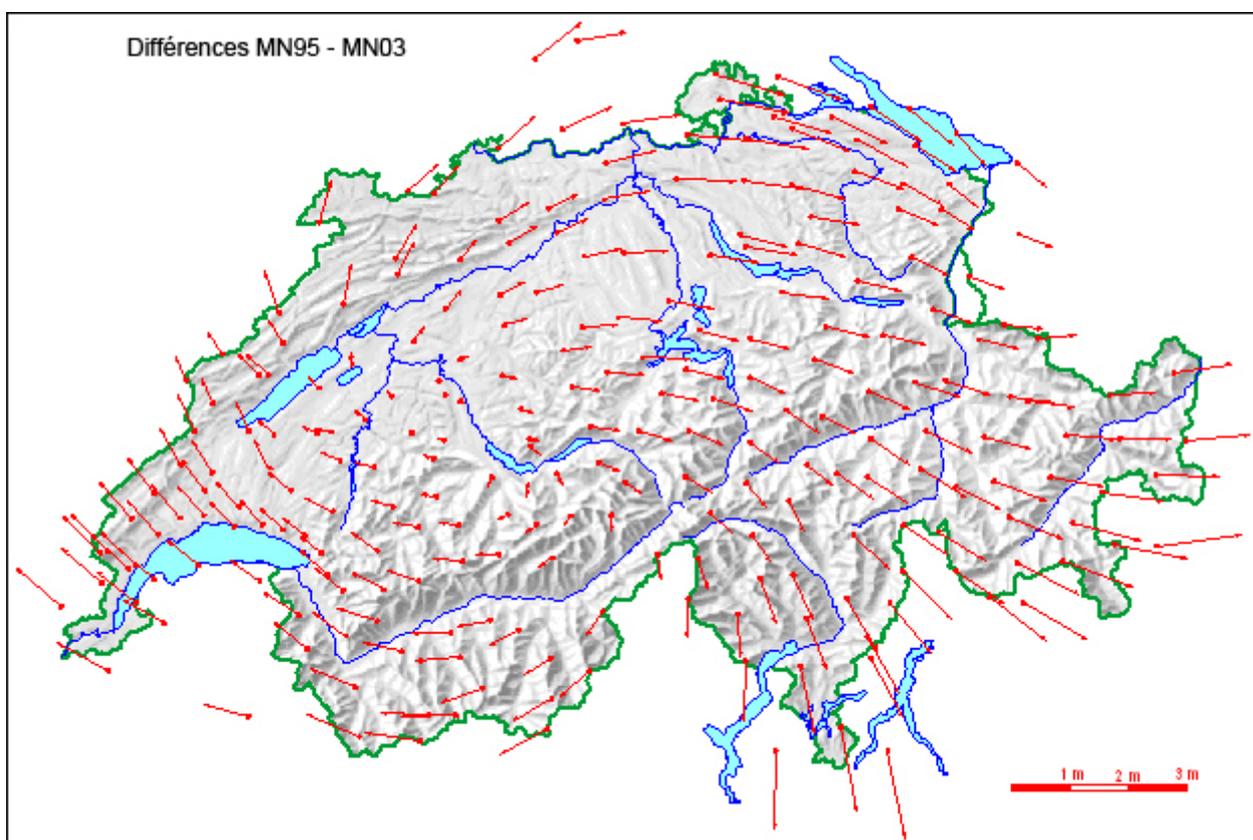


Figure 6-2 : représentation des vecteurs des différences MN95 – MN03 sur la Suisse entière

La précision à attendre de la transformation effectuée à l'aide de FINELTRA-MN correspond au niveau de qualité initial de la précision entre points voisins dans le réseau de triangulation de 1^{er} / 2^{ème} ordre. La compensation de diagnostic du 1^{er}/2^{ème} ordre et les mesures de rattachement aux points MN95 ont permis d'en obtenir une bonne évaluation. Ainsi, les valeurs à attendre étaient de quelques centimètres sur le Plateau et de quelques décimètres en montagne. Il était clair d'emblée que ce maillage triangulaire ne répondrait pas aux besoins de la MO et qu'une densification spécifique était nécessaire pour la MO (cf. paragraphe suivant). Ce jeu de données pouvait cependant servir pour un certain nombre d'applications SIG ou de saisies de données de moindre précision, en tant que solution approchée de précision décimétrique. Cette possibilité de changement approchée de cadre de référence a par exemple été proposée très tôt sous forme d'option en ligne par le service de positionnement *swipos-GIS/GEO*.

6.3 Maillage triangulaire pour FINELTRA au niveau de la mensuration officielle

La décision d'introduire à long terme le cadre de référence MN95 comme cadre officiel de la mensuration officielle devait s'accompagner de la création d'une base permettant de transformer les données entre les deux cadres MN03 et MN95. Il a par ailleurs été décidé que la base de transformation devait reposer sur une définition nationale de triangles pour FINELTRA. Ce maillage triangulaire définissant une transformation affine limitée à chaque triangle est à considérer comme une solution rigoureuse (exacte) en mensuration officielle. Les géodonnées de base de la mensuration officielle présentant des déformations supplémentaires par rapport à celles de la mensuration nationale, les exigences de précision de l'OTEMO ne peuvent pas être respectées avec le maillage défini au niveau de la mensuration nationale (cf. paragraphe précédent). En conséquence, il a été décidé d'affiner ce maillage afin que FINELTRA tienne compte aussi des déformations locales systématiques existant en MN03.

Le maillage triangulaire pour l'INDG a été élaboré par les cantons en collaboration avec swisstopo. La Géodésie (processus GF) a coordonné et vérifié les travaux avant de réunir les différents fichiers cantonaux au sein d'un maillage national. Le jeu de données FINELTRA ainsi créé a été baptisé CHENyx06.

Les recommandations et instructions portant sur les sujets suivants ont été établies par la Géodésie en collaboration avec le CC DG/MN95 pour aider les cantons à élaborer CHENyx06 :

- Instruction pour l'établissement du maillage triangulaire cantonal [swisstopo 2000]
- Instructions techniques pour l'établissement du maillage triangulaire - avec une liste de vérification et un modèle pour l'analyse de la répartition des résidus [swisstopo 2004c]
- Recommandations portant sur les exigences de qualité applicables à l'établissement du maillage triangulaire par les cantons [swisstopo 2004d]

6.3.1 Points d'appui de la transformation (PAT)

Les points des types suivants ont servi comme points d'appui pour la définition des triangles :

- PFP1 (points principaux et de densification du réseau MN95, stations AGNES, points de triangulation du 1^{er} au 3^{ème} ordre) → appelés PAT1
- PFP2 → appelés PAT2
- PFP3, points limites et points virtuels, aussi PAT2.

Les PAT virtuels sont des points non matérialisés, purement « fictifs », servant à définir le maillage triangulaire. Il s'agit principalement de points déduits de points réels qui sont mal placés ou qui sont situés en marge du maillage, hors du territoire suisse. Les coordonnées MN95 des points d'appui de la transformation (PAT) ont dû être déterminées.

6.3.2 Hiérarchie des points d'appui de la transformation

Les cantons avaient une grande latitude dans le choix des points utilisés en tant que points d'appui de la transformation (PAT). La Géodésie avait toutefois défini les critères de sélection des PAT dans ses instructions portant sur l'établissement du maillage triangulaire cantonal [swisstopo 2000].

Les PFP1 avaient rang sur les autres PAT dans le cadre de la détermination des coordonnées en MN95. Les instructions techniques portant sur l'établissement du maillage triangulaire [swisstopo 2004c] définissaient ainsi que les PFP1 étaient à intégrer comme des points fixes dans la compensation. Tout changement dans les coordonnées des PFP1 par les cantons (dans les deux cadres MN03 et MN95) était soumis à l'approbation de la Géodésie.

6.3.3 Justification de la qualité à l'aide de points de contrôle

L'algorithme de FINELTRA calcule les paramètres de transformation de chacun des triangles à partir des points d'appui de la transformation. Avec trois points d'ajustage disponibles par

élément), la transformation affine n'est dans ce cas pas surdéterminée, de sorte qu'il est impossible d'estimer la qualité du modèle de transformation (par la variance σ_0^2) ou l'écart moyen sur un point de calage, au contraire par exemple de l'interpolation bilinéaire avec le format NTV2 (cf. § 6.6.2), permettant de calculer une précision pour chaque point d'appui et de la joindre directement à la grille de correction. En conséquence, la justification de la qualité du maillage triangulaire / de la transformation s'est appuyée sur une approche empirique fondée sur des points de contrôle.

Plus de 45'000 points de contrôle ont été mesurés dans la Suisse entière, les coordonnées transformées à l'aide du maillage triangulaire étant ensuite comparées aux valeurs mesurées, donnant ainsi naissance à des vecteurs de différences (résidus).

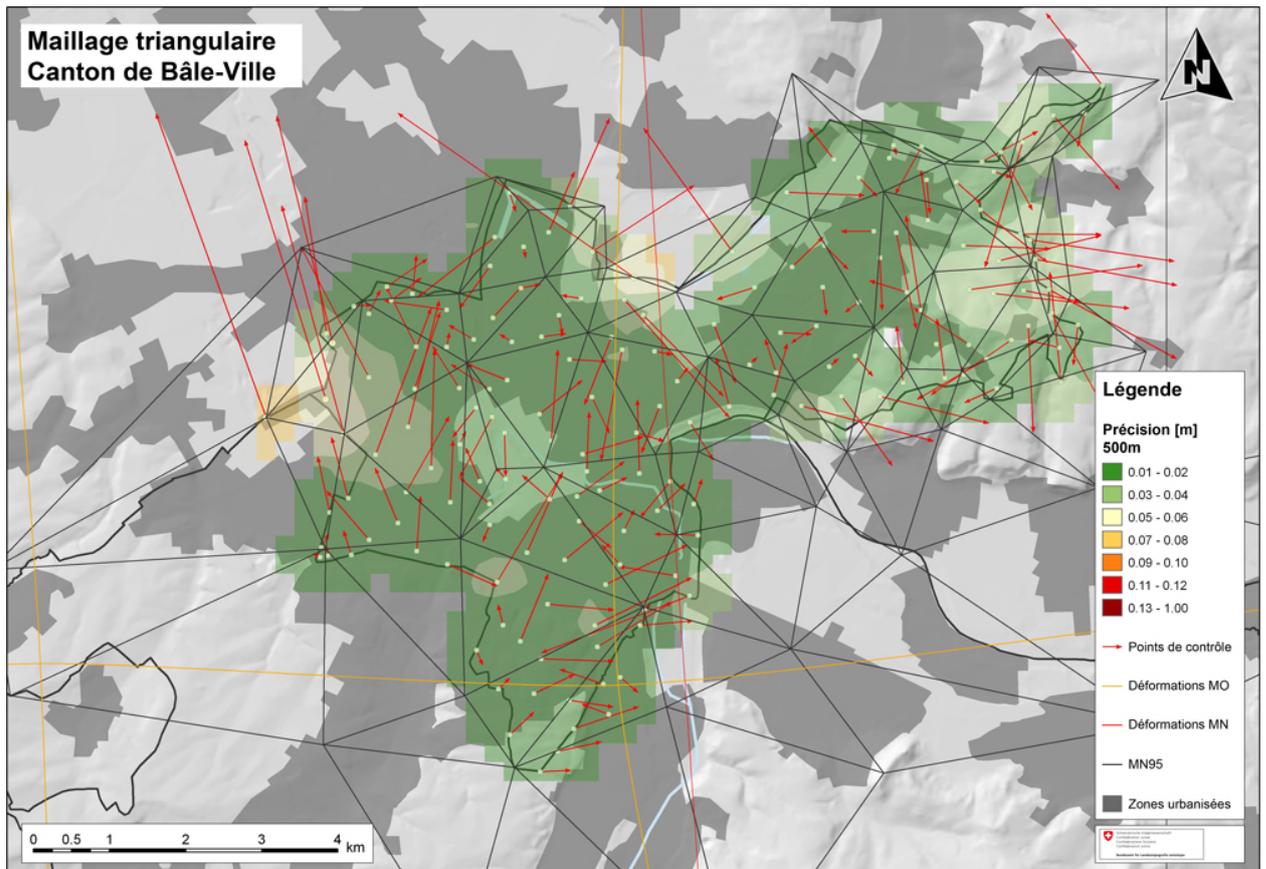


Figure 6-3 : points de contrôle levés dans le canton de Bâle-Ville ; les résidus sont généralement très faibles ; à l'exception de l'extrême ouest et de l'extrême est, les vecteurs, qui sont régulièrement répartis sur tout le territoire cantonal, ne présentent plus de composante systématique.

Les points de contrôle ont été choisis par les services cantonaux du cadastre, des points si possible représentatifs (PFP2, PFP3 et points limites) devant être mesurés. Les cantons se sont acquittés de cette tâche de manière très diverse, tant pour ce qui concerne le nombre des points de contrôle saisis (cf. carte de densité de la figure 6-5) que la catégorie des points (points fixes "cantonaux" PFP2 seuls ou intégration de points "communaux" tels que PFP3 et points limites). Ainsi, les cantons de Zoug, Genève, Bâle-Ville et Bâle-Campagne ou encore Neuchâtel ont utilisé de nombreux PFP3 et des points limites comme points de contrôle, tandis que d'autres cantons, tels que les Grisons, Thurgovie, Soleure ou Lucerne n'ont pratiquement utilisé que des PFP2. Dans le premier cas, la qualité du maillage triangulaire a pu être vérifiée jusqu'au niveau de la mensuration parcellaire (PFP3 et PL) alors qu'elle n'a pu être contrôlée que jusqu'au niveau des points fixes cantonaux (PFP2) dans le second cas. La figure 6-4 suivante présente ces deux cas de figure de façon schématique :

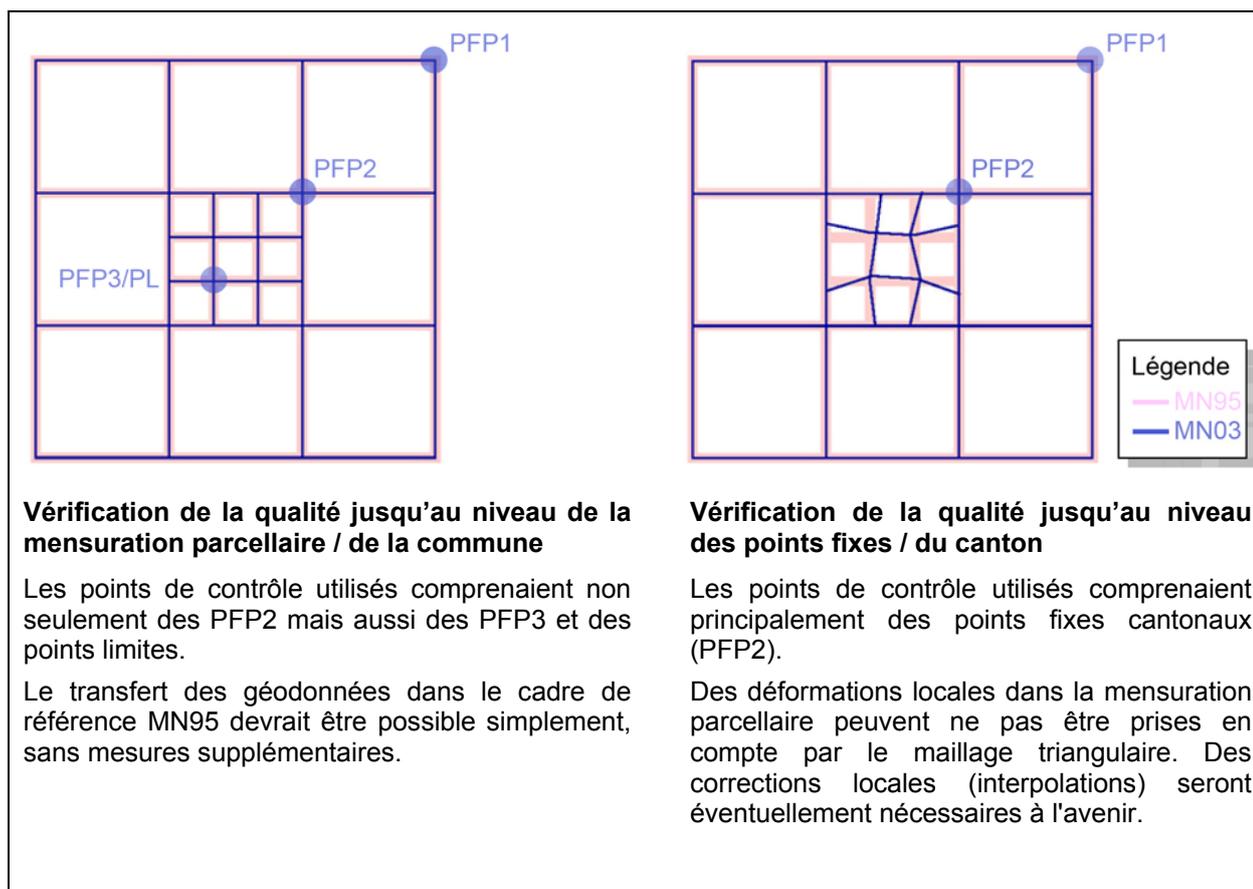


Figure 6-4 : importance du choix des points de contrôle pour la justification de la qualité du maillage triangulaire

Les maillages triangulaires cantonaux présentent par conséquent de fortes disparités pour ce qui concerne la qualité de l'analyse des déformations locales dans la mensuration parcellaire. Cette raison, jointe à d'autres, a incité swisstopo à faire lever des points de contrôle supplémentaires (surtout des PFP3 ou des points limites) dans certains cantons.

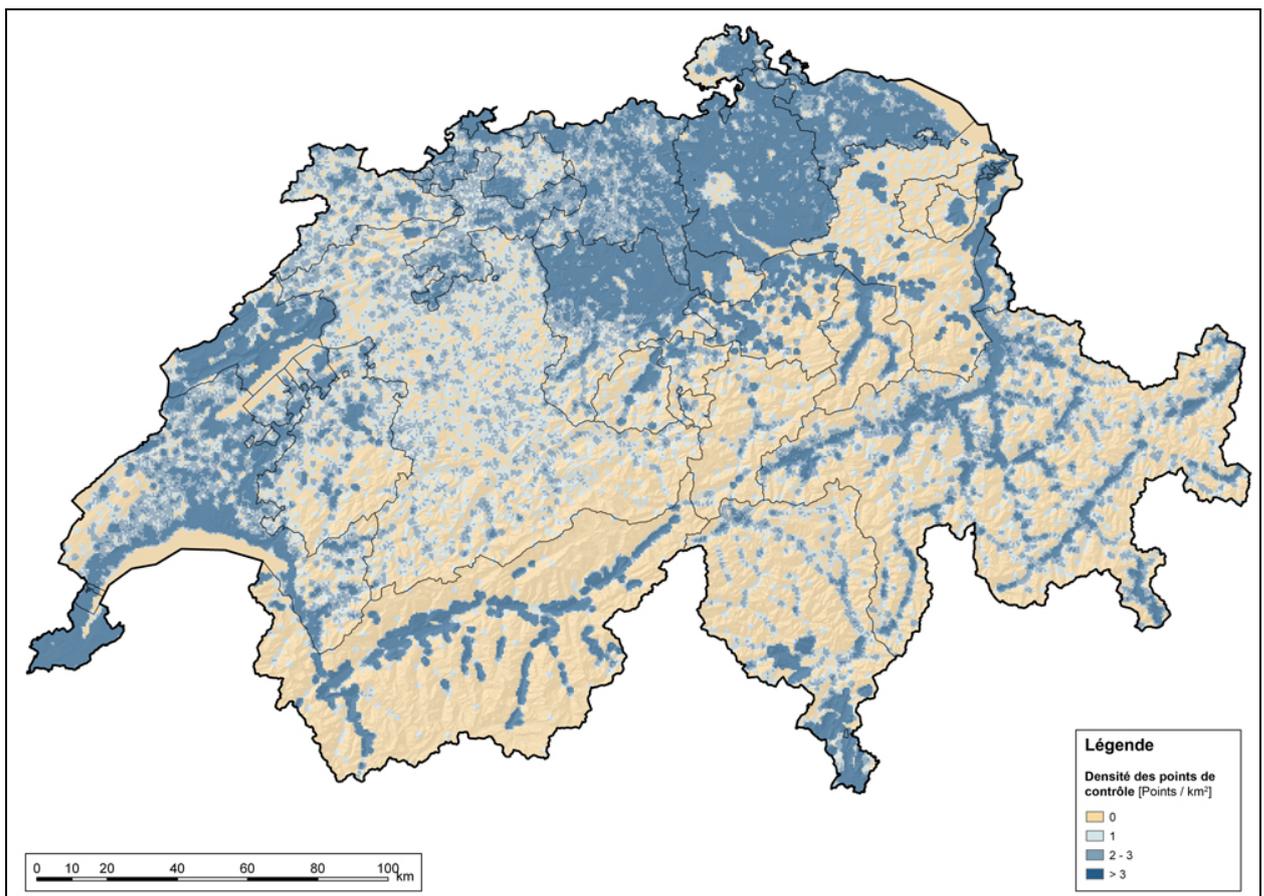


Figure 6-5 : densité des points de contrôle dans la Suisse entière : plus la densité des points de contrôle est élevée, plus la précision empirique de la transformation MN03 ↔ MN95 (cf. carte des précisions de la figure 6-7) se fonde sur des bases solides. Dans les zones en orange, aucun point de contrôle n'a pu être levé, de sorte qu'il est impossible de fournir des indications sur la précision empirique en leur sein.

Selon les recommandations portant sur les exigences de qualité applicables à l'établissement du maillage triangulaire par les cantons [swisstopo 2004d], les résidus devaient satisfaire à une répartition prédéfinie en fonction du niveau de tolérance et ne devaient pas dépasser une valeur de tolérance donnée (cf. § 6.6). Les résidus sortant de la plage de tolérance fixée devaient faire l'objet d'une analyse plus poussée de la part des cantons. Si les résidus indiquaient une déformation systématique, une amélioration du maillage triangulaire (choix d'un PAT plus représentatif ou densification) devrait avoir lieu dans le cadre d'un processus itératif. Pour évaluer les résidus, les cantons ont produit un histogramme pour les zones bâties (niveaux de tolérance NT 1 et 2) et un autre pour les zones restantes (NT 3 à 5) selon une classification prédéfinie par la Géodésie (cf. figure 6-6), fondée sur la taille des résidus. L'analyse des résidus faisait partie intégrante de la vérification (cf. § 6.3.5.1 « Vérification des maillages triangulaires cantonaux »).

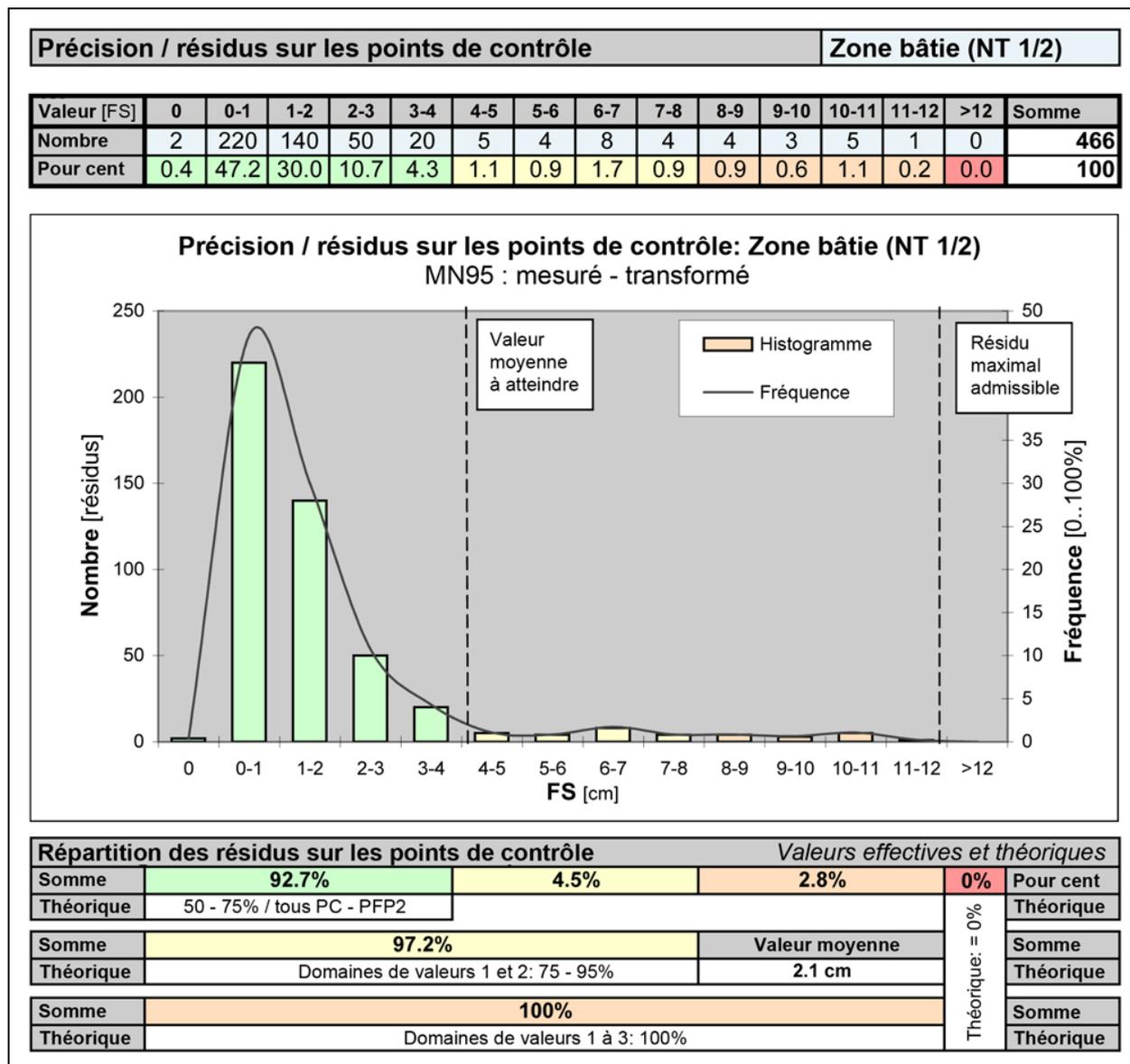


Figure 6-6 : exemple d'histogramme avec les résidus sur les points de contrôle servant à vérifier la qualité du maillage triangulaire

La Géodésie a dressé une carte des précisions étendue à toute la Suisse sur la base des points de contrôle levés. Une interpolation a été calculée dans un SIG à l'aide des résidus. La méthode d'interpolation par « moyenne pondérée » a été utilisée, le territoire suisse étant intégralement découpé en cellules d'une dimension de 500 m x 500 m. Une valeur moyenne de précision a été calculée pour chaque cellule sur la base des cinq points les plus proches. Le poids associé à chacun des points diminuait de manière quadratique ($1/distance^2$) en fonction de la distance par rapport au centre de la cellule. Par ailleurs, seuls des points situés à moins de 1,5 kilomètre du centre de la cellule ont été pris en compte. La qualité de cette méthode d'interpolation dépendait d'une part de la répartition et de la précision de mesure des points de contrôle et d'autre part du caractère représentatif de tels points. Afin que les précisions interpolées soient présentées de manière homogène, des classes avec des domaines de précision différents ont été définies (cf. précision de transformation sur la figure 6-7 suivante), fondées sur la valeur du vecteur résiduel (dit FS / 1D). Les valeurs indiquées doivent encore être multipliées par $\sqrt{2}$ pour obtenir la précision de transformation en 2D (erreur moyenne sur le point selon Helmert).

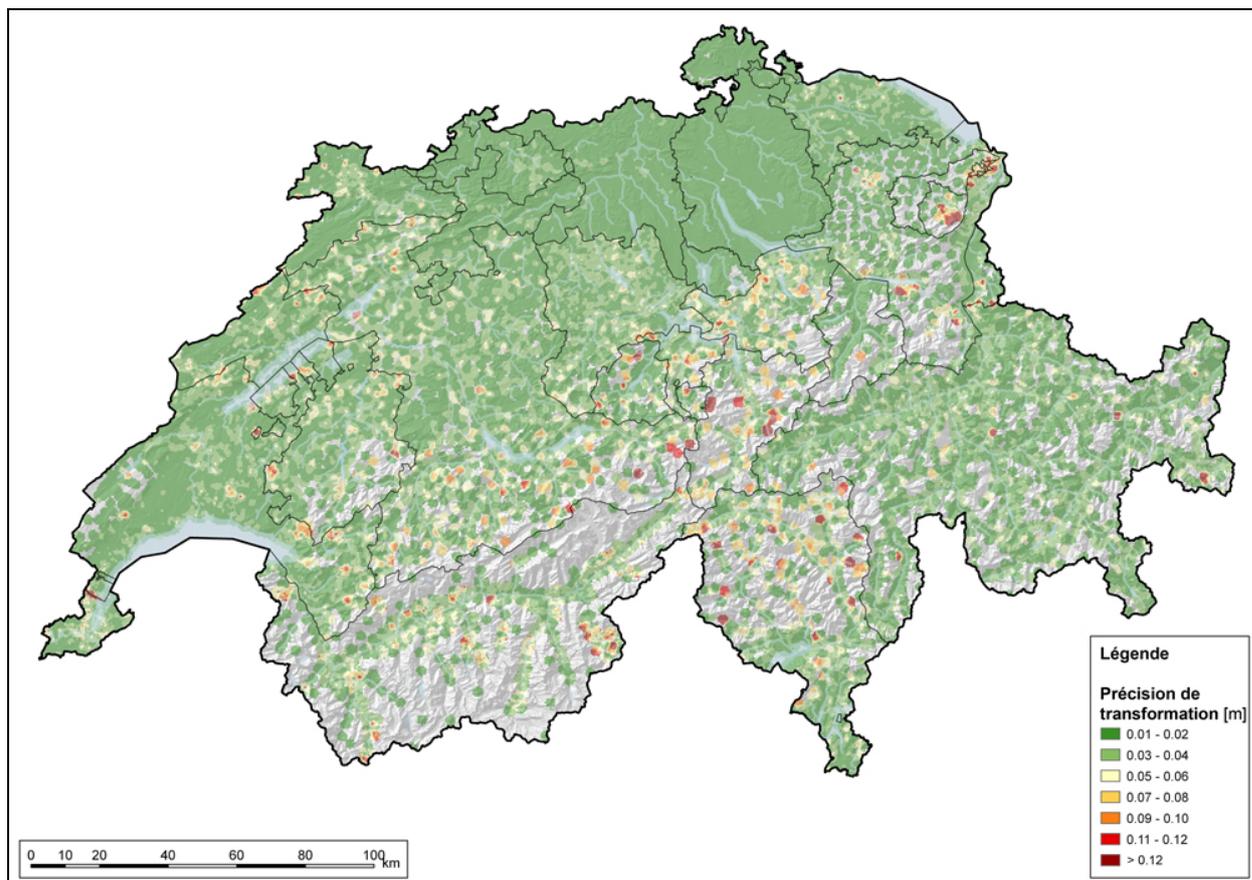


Figure 6-7 : précision linéaire de la transformation (FS / 1D), déduite des points de contrôle

La carte des précisions fournit les informations importantes suivantes :

- Il est possible d'estimer la précision avec laquelle le changement de cadre de référence MN03 → MN95 peut s'effectuer et donc indirectement celle avec laquelle le rattachement aux systèmes de référence internationaux comme WGS84 ou ETRS89 (échange de données avec les pays voisins compris) peut être réalisé via une transformation.
- Pour les utilisateurs du service de positionnement swipos® recourant à FINELTRA en temps réel, la carte des précisions empiriques indique les endroits où une précision centimétrique peut être atteinte avec des mesures GNSS dans le cadre de référence MN03 en vigueur, sans qu'un ajustage local soit requis.
- Dans la perspective du passage à MN95, les zones dans lesquelles il sera impossible de répondre aux exigences de précision prévues par l'OTEMO avec CHENyx06 et qui nécessiteront donc des corrections locales (interpolations) peuvent être identifiées.

Afin que ces informations puissent être rendues accessibles à tous les utilisateurs, la carte des précisions sera publiée sur le portail Internet officiel dédié au changement de cadre de référence. Un visualiseur interactif de données a été spécialement développé à cette fin (cf. chapitre 10). Il est prévu d'actualiser périodiquement les cartes jusqu'en 2016 ou en 2020, conformément à la progression des corrections locales dans la mensuration officielle.

6.3.4 Maillages triangulaires cantonaux

Le jeu de données FINELTRA national a été constitué à partir des différentes solutions cantonales. Les cantons ont défini leurs maillages triangulaires de manière autonome avant de les transmettre à la Géodésie pour vérification. Aux limites cantonales, les cantons ont collaboré entre eux et ont harmonisé leurs maillages triangulaires respectifs, minimisant ainsi le volume de travail de correction requis lors de la formation du maillage triangulaire national. En certaines occasions, les cantons ont également procédé à des définitions de triangles communes. Une coopération de ce type a été observée entre les cantons d'Appenzell Rhodes-Intérieures, d'Appenzell Rhodes-Extérieures et de Saint-Gall ainsi qu'entre les cantons de Nidwald et d'Obwald.

La Géodésie et la D+M ont accompagné les travaux. Les documents mentionnés au paragraphe 6.3 [swisstopo 2000, 2004c, 2004d] ont été mis à disposition à titre d'aide et d'instructions.

Les travaux relatifs aux maillages triangulaires cantonaux ont débuté en 1999 pour s'achever fin 2006 grâce à l'engagement très fort des services cantonaux du cadastre.

6.3.5 Vérification / contrôle de la qualité

Les contrôles du maillage triangulaire national se sont déroulés en deux étapes. Les définitions cantonales ont d'abord été vérifiées séparément. Ce contrôle portait principalement sur la précision de la transformation et les déformations. Au cours d'une seconde étape, les différents jeux de données cantonaux ont été rassemblés pour former un jeu de données cohérent couvrant toute la Suisse. Il s'agissait avant tout de coordonner les interfaces aux limites des cantons afin d'éliminer les contradictions et les erreurs restantes.

6.3.5.1 Vérification des maillages triangulaires cantonaux

La vérification technique des maillages triangulaires cantonaux a été assurée par le domaine de la Géodésie (processus GF). Au début des travaux, les cantons ont soumis un projet de maillage triangulaire. L'adaptation du concept cantonal de points fixes y était généralement associée. Une fois le feu vert de la Géodésie / D+M obtenu, les cantons étaient autorisés à démarrer leur projet. La vérification a suivi le schéma suivant pour la plupart des cantons :

- expertise et approbation du projet et du concept
- vérification de la détermination des coordonnées en MN95 pour les points d'appui de la transformation (PAT) et les points de contrôle
- vérification du maillage triangulaire cantonal entraînant, le cas échéant, des améliorations à apporter à la définition des triangles ou l'élimination d'autres défauts
- vérification finale visant à corriger les ultimes carences.

La détermination des coordonnées en MN95 et l'établissement du maillage triangulaire ont parfois été vérifiés au cours d'une même étape.

La vérification des mesures GNSS en MN95 a suivi les prescriptions de l'OTEMO et des « Directives pour la détermination des points fixes de la MO » [swisstopo 2005]. Le maillage triangulaire a été défini dans le respect des principes énoncés dans les instructions et les directives concernées et la vérification des travaux s'est effectuée selon les mêmes règles (cf. § 6.3.4). Une distinction a cependant été faite entre les zones dans lesquelles la MO était déjà disponible au standard de qualité MO93 et celles où les données de la MO faisaient encore défaut ou étaient disponibles dans d'autres standards de qualité. Par ailleurs, la Géodésie a évalué les solutions cantonales selon les critères suivants :

- déformation de la surface (dilatation) des triangles
- rotation des triangles
- différence des facteurs d'échelle par rapport aux triangles voisins

- déformation en direction (cisaillement) des triangles
- taille, répartition et systématismes des résidus sur les points de contrôle
- taille des triangles.

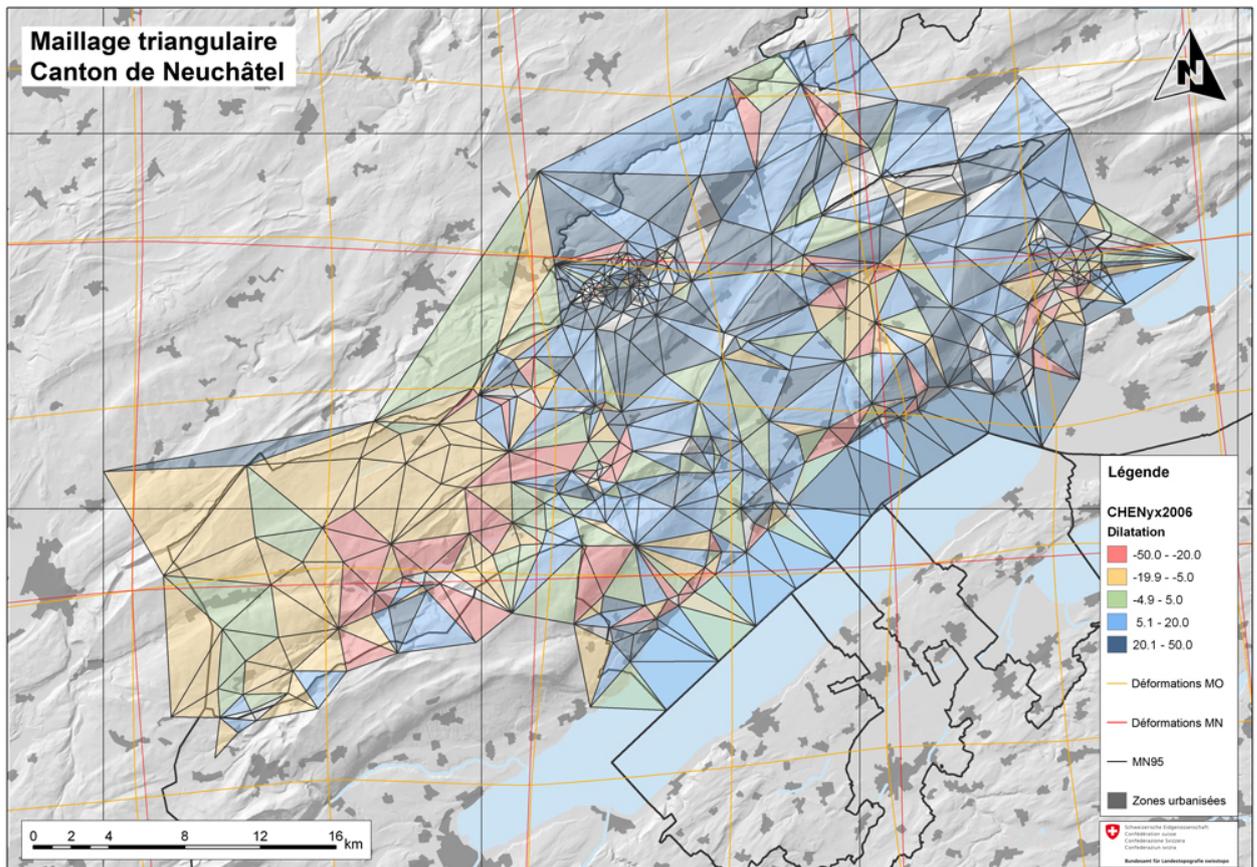


Figure 6-8 : maillage triangulaire du canton de Neuchâtel représenté en fonction du paramètre de déformation « dilatation », indiquant pour chaque triangle si une expansion ou une contraction résulte de la transformation MN03 → MN95. La partie occidentale du canton subit plutôt une contraction tandis que sa partie orientale subit une expansion. La grille de coordonnées rouge indique les déformations de MN03 au niveau de la mensuration nationale, celle en orange les déformations plus détaillées au niveau de la mensuration officielle et celle en noir le nouveau cadre de référence MN95 pratiquement exempt d'erreurs. On discerne très bien également la densification du maillage triangulaire dans les secteurs du Landeron / La Neuveville ainsi qu'autour du Locle.

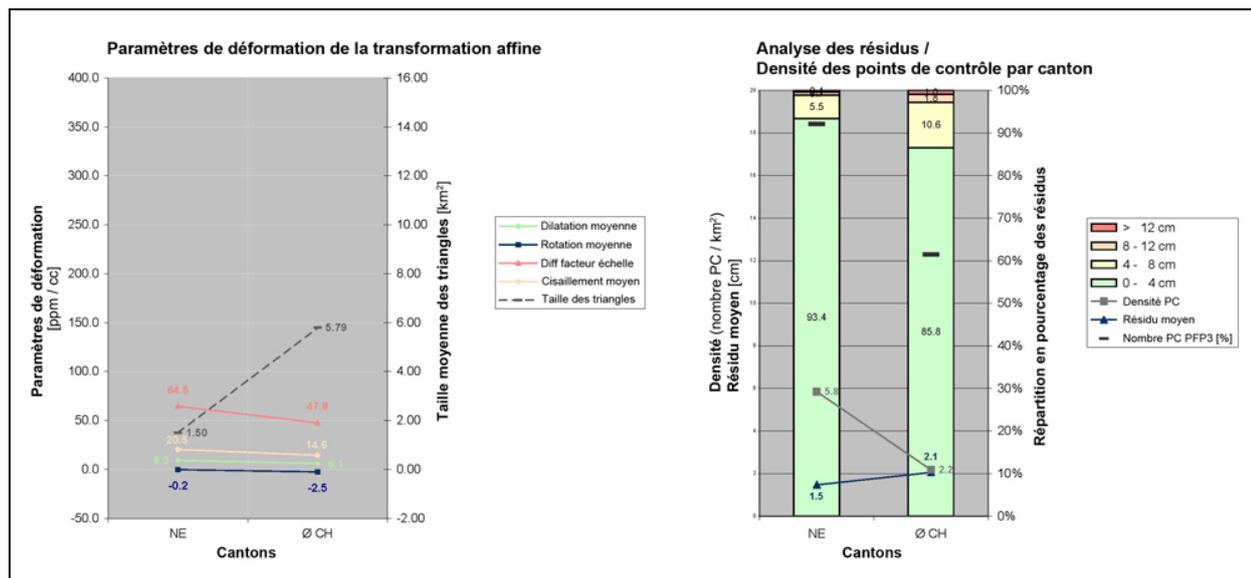


Figure 6-9 : paramètres de déformation et répartition des résidus pour le canton de Neuchâtel [NE] avec comparaison par rapport aux valeurs moyennes en Suisse [Ø CH].

Une attention particulière a été portée à l'analyse des résidus durant la vérification, l'estimation de la précision de la transformation reposant avant tout sur eux. C'est dans ce contexte qu'a été créée la carte des précisions déjà citée et fournissant de précieuses informations aux utilisateurs. Des détails à son sujet figurent au paragraphe 6.3.3.

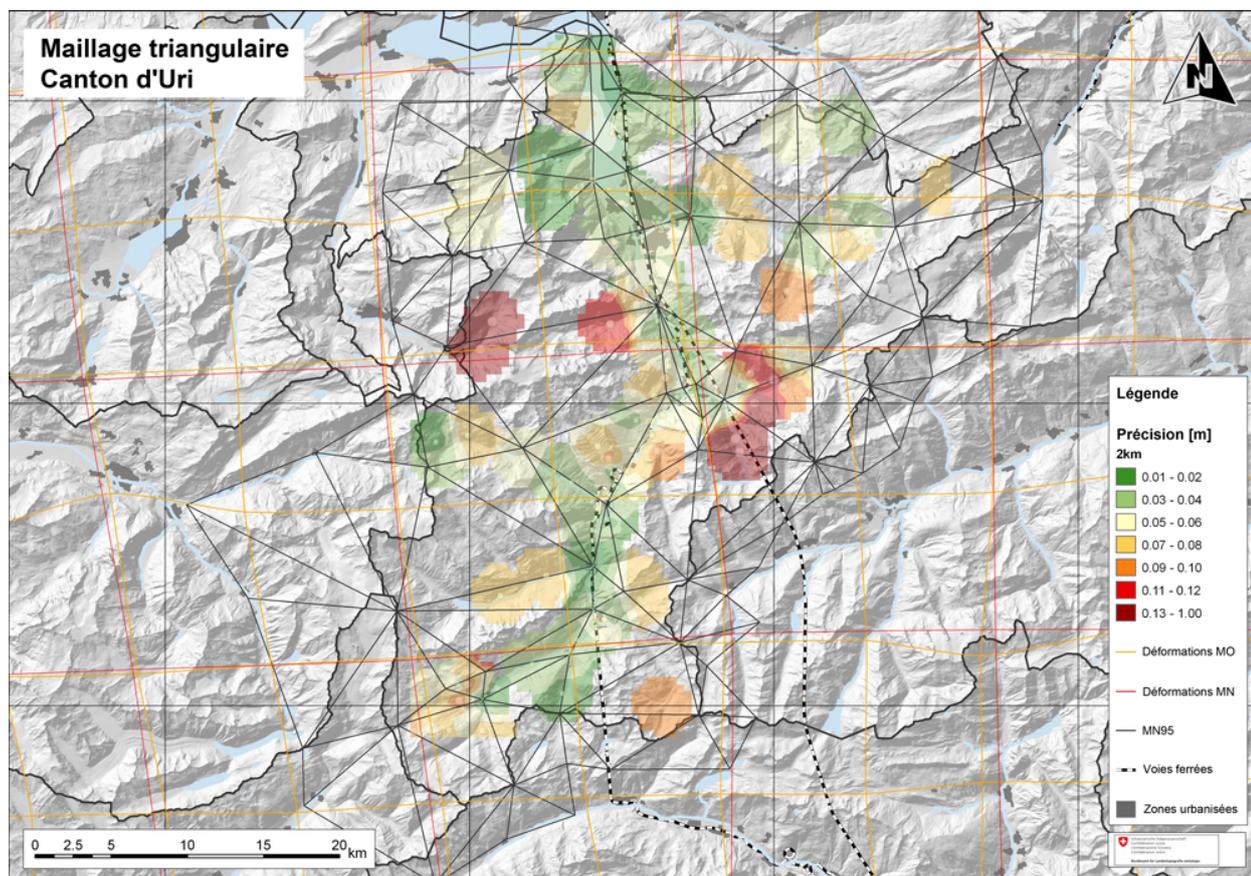


Figure 6-10 : maillage triangulaire du canton d'Uri avec ses points de contrôle et carte des précisions en résultant. On voit très bien que les côtés des triangles ont été définis le long des vallées et que bon nombre de points de contrôle (aux résidus

faibles) ont été levés en zone urbanisée. En revanche, les zones de montagne comportent très peu de points de contrôle (et présentent donc des résidus élevés ou ne permettent même pas de se prononcer).

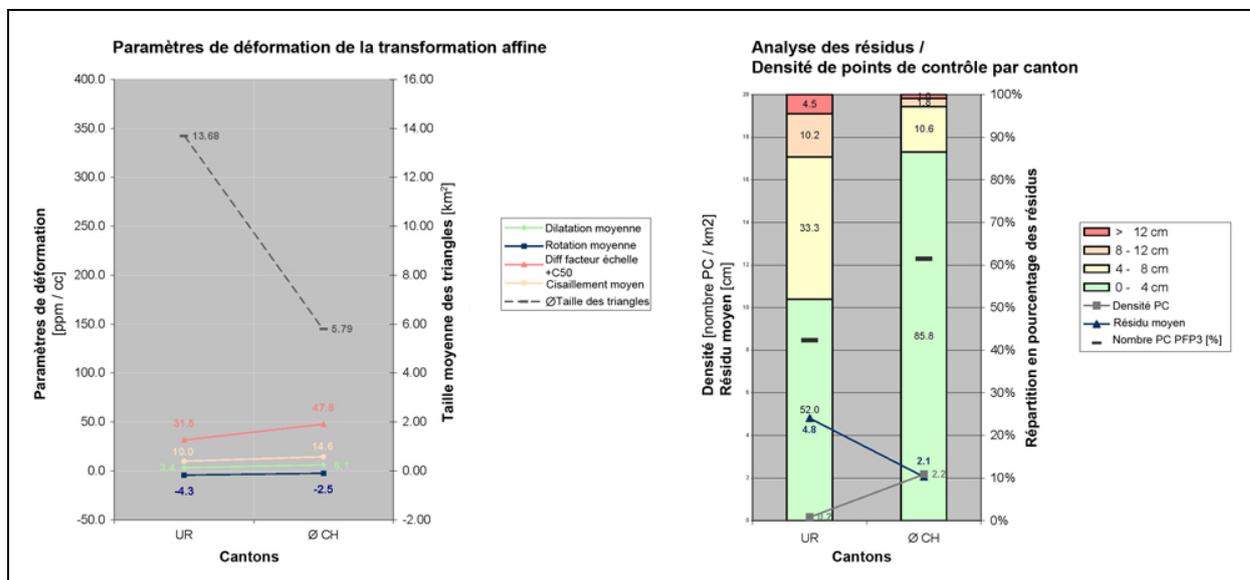


Figure 6-11 : paramètres de déformation et répartition des résidus pour le canton d'Uri [UR] avec comparaison aux valeurs moyennes en Suisse [ØCH] : par rapport aux autres cantons, ce canton de montagne présente les triangles les plus grands et des résidus moyens relativement élevés (4,8 cm). Comparée à celle des autres cantons, la densité des points de contrôle est très faible. 42% des points de contrôle sont des PFP3 ou des points limites. Le maillage triangulaire du canton d'Uri a été le premier à être achevé (en raison, entre autres, des travaux de construction du tunnel de base du Saint-Gothard).

Les paramètres de déformation de la transformation affine provenant du calcul par FINELTRA ont pu être transférés vers ArcGIS, à l'aide de l'outil FINELTRA2ArcGIS spécialement développé pour la vérification. Ils étaient alors disponibles pour des analyses et des représentations graphiques (cf. § 6.3.5.3). Les documents graphiques suivants ont donc été établis pour chaque solution cantonale, illustrant la répartition géographique des résultats :

- représentation des vecteurs pour les PAT et les points de contrôle, comparaison avec les PAT1 (exemple : stations AGNES, points MN95 ou PFP1) comprise
- triangles ne comprenant aucun point de contrôle
- densité des points de contrôle
- valeur absolue des résidus
- carte des précisions, interpolées à partir des résidus sur les points de contrôle
- éléments de déformation des triangles (dilatation, différence des facteurs d'échelle) dépassant les tolérances prescrites par les instructions et les directives
- PFP1 qui ne sont pas utilisés comme des PAT.

Ces documents ont été remis aux cantons avec le rapport de vérification. L'analyse statistique selon les critères susmentionnés (cf. exemple suivant relatif aux dilatations des triangles dans le canton de Bâle-Campagne) en faisait partie. Les documents graphiques et les analyses statistiques sont archivés au sein de la Géodésie sous forme papier et numérique.

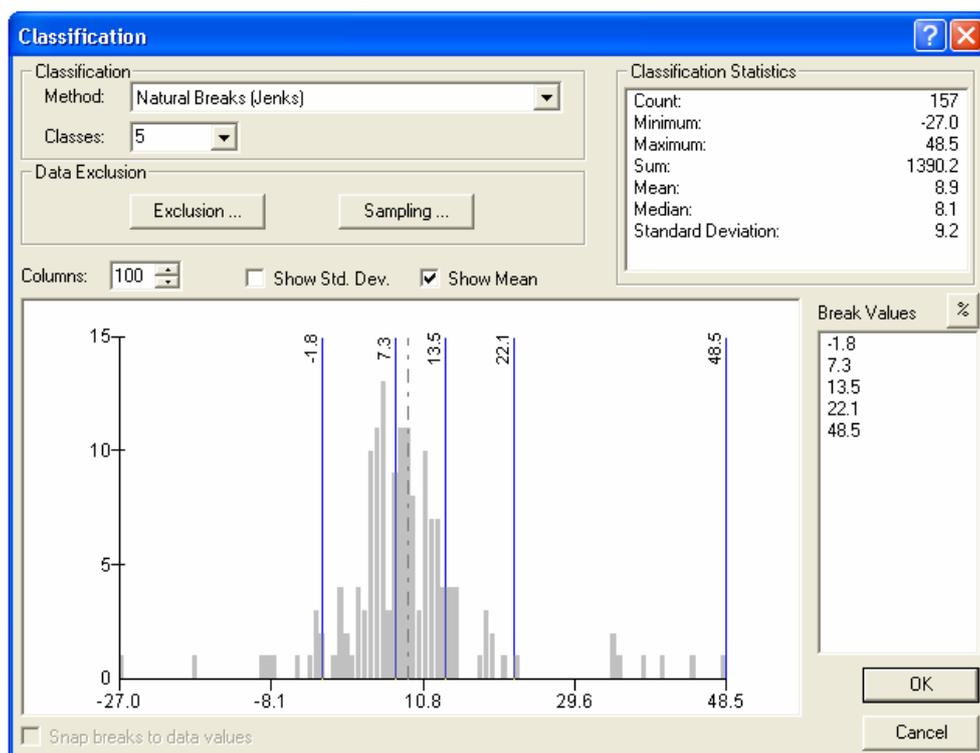


Figure 6-12 : analyse statistique, exemple des dilatations des triangles dans le canton de BL

Les valeurs clés des différents maillages triangulaires cantonaux ont été regroupées au sein de statistiques séparées de la Géodésie.

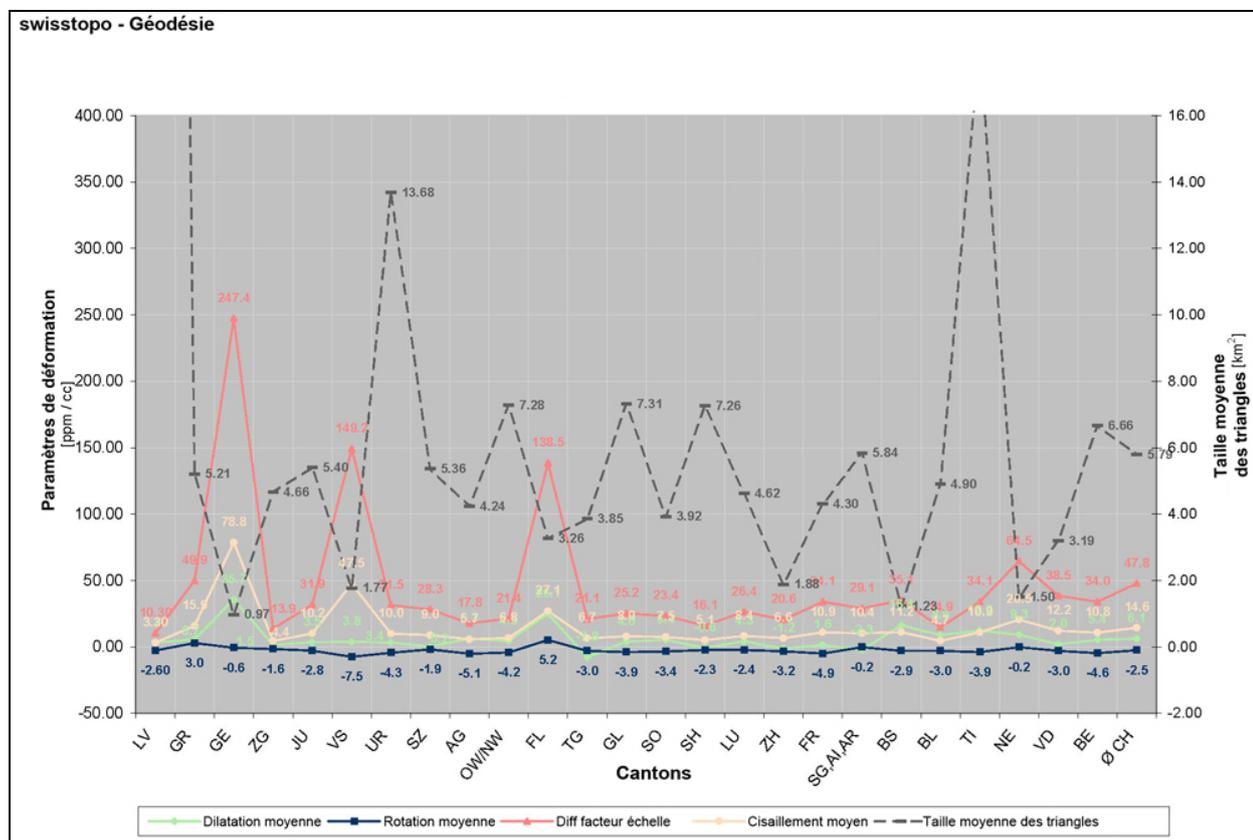


Figure 6-13 : paramètres moyens de déformation de la transformation affine et taille moyenne des triangles représentés par cantons

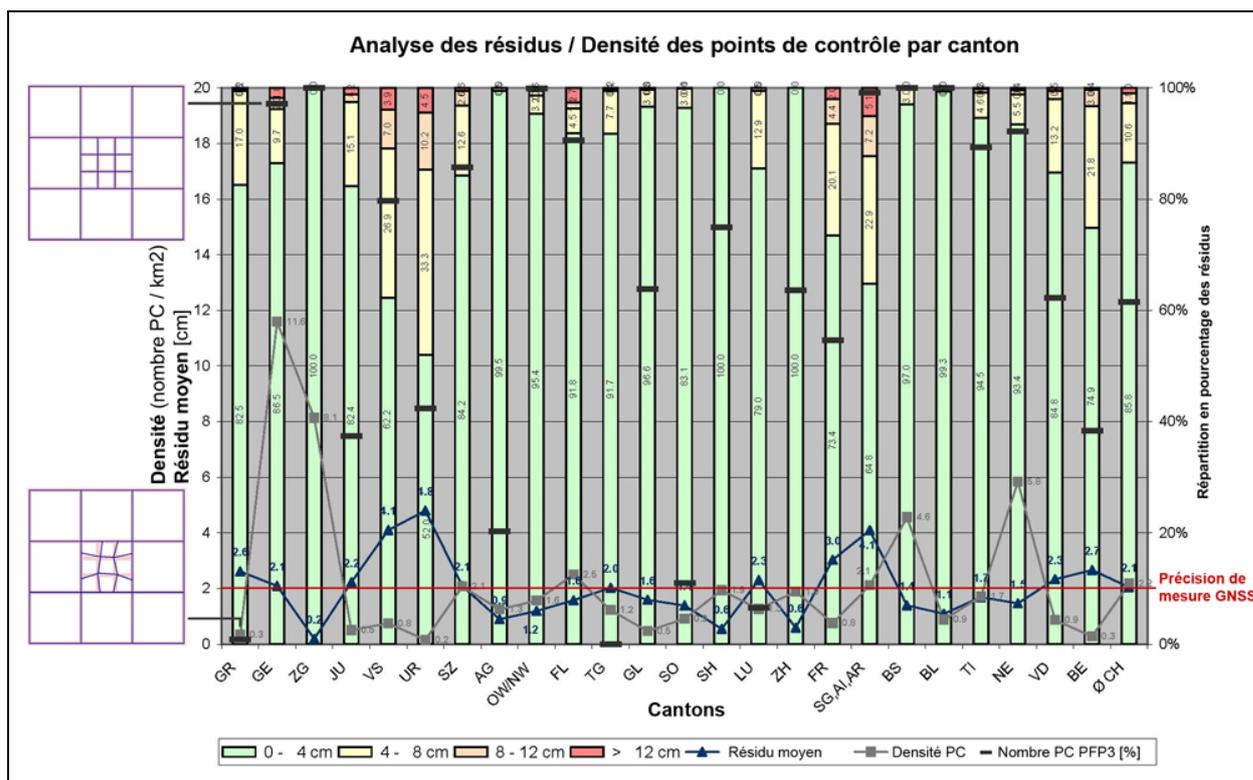


Figure 6-14 : répartition des résidus avec leur valeur moyenne, la densité des points de contrôle ainsi que la proportion de PFP3 et de points limites parmi les points de contrôle, classement par canton avec moyenne pour toute la Suisse. L'effet d'une proportion élevée ou faible de PFP3 ou de points limites parmi les points de contrôle sur les déformations résiduelles existantes est présenté symboliquement à gauche du graphique.

La statistique présentée sur la figure 6-14 montre clairement que toutes les solutions cantonales sont d'excellente qualité. Pour ce qui concerne la taille moyenne des triangles et des paramètres de déformation, des différences parfois marquées existent entre les cantons. En revanche, tous les cantons répondent largement aux exigences de la mensuration officielle en matière de précision de la transformation. La précision calculée à partir des résidus s'élève à 2 cm en moyenne suisse (barre rouge), ce qui correspond grosso modo à la précision atteignable par des mesures GNSS (VRS RTK). Observons au passage que 61,5% des points de contrôle utilisés sont des PFP3 (curseur noir), ce qui signifie que la précision déduite de façon empirique est réellement représentative pour la mensuration officielle dans la plupart des régions.

Ce résultat remarquable ne doit pas occulter le fait que ces indications sont à considérer avec une certaine prudence dans certaines régions. Il s'agit notamment de zones où :

- les points d'appui de la transformation ont présenté une bonne concordance localement, mais ne reflètent pas la situation prévalant dans la zone considérée de manière représentative
- les PFP3 utilisés ne proviennent pas d'entreprises révisées ou renouvelées
- les points d'appui de la transformation n'ont pas été répartis de manière homogène
- la densité des points de contrôle est faible
- le réseau de points fixes sur lequel se fonde la MO actuelle a servi de base pour la transformation sans une révision des points fixes.

6.3.5.2 Contrôles finaux relatifs au maillage triangulaire national

Divers tests de cohérence ont été réalisés lors de la réunion des différentes solutions cantonales pour former le maillage triangulaire national CHENyx06. Ces contrôles ont notamment porté sur les zones entourant les limites cantonales, en particulier sur les coordonnées et les numéros des points d'appui de la transformation (PAT) ainsi que la désignation des triangles. Le jeu de données CHENyx06 complet a été soumis aux contrôles finaux suivants :

- La définition des triangles a été importée dans une base de données Access au sein de laquelle divers tests ont été effectués, afin de déterminer notamment :
 - si le numéro attribué à chaque PAT est unique,
 - si le numéro attribué à chacun des triangles est unique,
 - si la définition de chacun des triangles est sans équivoque,
 - si les coordonnées des PAT sont sans équivoque dans les cadres MN03 et MN95,
 - si le même PAT n'est attribué qu'une seule fois à un triangle,
 - si tous les triangles utilisent des PAT connus.
- Divers tests logiques et sémantiques sous *Excel* :
 - vérification du respect du nombre de caractères imparti aux numéros de PAT et de triangles
 - contrôle visant à déterminer si tous les PAT font partie d'au moins un triangle.
- PAT1 : comparaison des coordonnées en MN03 et MN95 avec les données de la Géodésie
- PAT2 : comparaison des coordonnées en MN03 avec la base de données du service de données sur les points fixes (FPDS).

De nombreuses contradictions ont ainsi pu être découvertes puis corrigées. Les contrôles finaux ont eu lieu en février/mars 2007. Les données du FPDS n'étant pas encore complètes à cette date, des contradictions éventuelles concernant les PAT cantonaux ne peuvent pas être exclues.

Les tests effectués dans la base de données Access ont débouché sur le modèle de données présenté sur la figure 6-15. Il permettrait de gérer l'ensemble des modifications apportées à la définition des triangles et de générer automatiquement le fichier de données pour FINELTRA, via une macro appropriée. Aucun développement en ce sens n'a toutefois été entrepris jusqu'à aujourd'hui.

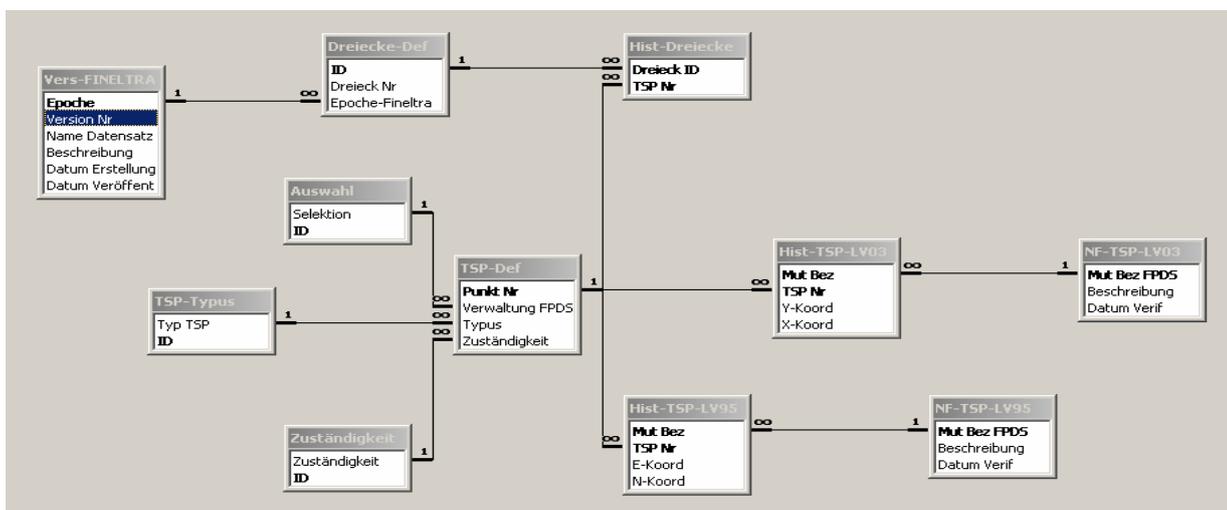


Figure 6-15 : modèle de données destiné à la gestion de la définition des triangles dans la perspective de modifications

6.3.5.3 Outils

La couche métier déjà citée a été développée pour ArcGIS, en collaboration avec le centre SIG de swisstopo (figure 6-16), pour la vérification des maillages triangulaires cantonaux. Les travaux de développement ont été réalisés en 2005, sur une base C# / ArcObjects. L'outil FINELTRA2ArcGIS a ainsi vu le jour sous la forme d'une DLL pouvant être intégrée à ArcGIS et permettant de lire les données des fichiers FINELTRA *.dat (fichiers de données) et *.prn (fichiers de calcul) puis de les importer dans une base de données existante. Il a alors été possible d'analyser et de représenter les données graphiquement au sein d'ArcGIS. Les multiples documents graphiques et analyses statistiques établis dans le cadre de la vérification (voir paragraphes précédents) en ont résulté. L'outil a été mis à la disposition des cantons afin de les aider dans l'analyse et l'amélioration des maillages triangulaires comme dans l'identification de déformations et d'erreurs dans la mensuration parcellaire.



Figure 6-16 : outil Fineltra2ArcGIS

De nombreux tableaux *Excel* ont été dressés en lien avec les contrôles finaux, au sein desquels les coordonnées des PAT et les définitions de triangles ont été comparées et des contradictions décelées le cas échéant.

Le service du cadastre du canton d'Argovie a par ailleurs développé un outil supplémentaire pour ArcView (version 3.2.1) générant automatiquement le fichier *.dat pour FINELTRA. Les triangles définis dans ArcView sont interprétés par cet outil et transférés dans le format correspondant de FINELTRA. Le traitement manuel ainsi que l'adaptation de la définition des triangles de FINELTRA ont ainsi pu être considérablement simplifiés.

6.3.5.4 Organisation

La vérification des maillages triangulaires cantonaux s'est déroulée canton par canton. La vérification technique incombait à la Géodésie tandis que le déroulement administratif du projet était supervisé par la D+M. Ce partage des tâches reposait sur un accord de niveau de service (Service Level Agreement, SLA) conclu entre la D+M et la Géodésie. Les trois vérificateurs mis à la disposition du projet par la Géodésie se sont alors répartis les cantons entre eux de sorte que chacun des cantons était affecté à un vérificateur clairement désigné. En règle générale, l'affectation des cantons était calquée sur l'attribution des travaux de vérification pour les entreprises PF2. L'affectation a dû être modifiée à plusieurs reprises en raison de changements de personnel. Il a toutefois été veillé à ce qu'une continuité si possible optimale soit globalement assurée au niveau de la supervision des cantons. Les responsables de processus partiels en charge de la vérification se sont réunis régulièrement pour aborder les problèmes rencontrés. Les difficultés qui n'ont pas pu être résolues par l'équipe des vérificateurs et qui nécessitaient une décision stratégique ont été transmises par le CO DG/MN95 au CC DG/MN95 (cf. § 5.1.2.3).

Le CO DG/MN95 chargé de coordonner la mise en oeuvre technique et concrète du changement de cadre de référence comptait un membre dans le CC DG/MN95 afin que les intérêts de la Géodésie soient défendus au sein de cet organisme. Le CO était supervisé par un vérificateur issu du domaine Géodésie. Il était ainsi garanti que le maillage triangulaire couvrant la Suisse entière de même que la Principauté du Liechtenstein aboutirait à un jeu de données parfaitement homogène. Une fois le maillage triangulaire national achevé, le CO a pris en charge la surveillance de sa distribution et de son entretien. Après la dissolution formelle du CC DG/MN95, cette tâche a directement été déléguée au processus « Points fixes géodésiques » du domaine Géodésie.

6.4 Le maillage triangulaire national CHENyx06

6.4.1 Création et jeux de données

Les maillages triangulaires créés par les cantons ont été vérifiés par le CO DG/MN95 (Géodésie, processus GF) puis réunis au sein d'un jeu de données national. Les contradictions décelées en limites de cantons ont été corrigées en accord avec les cantons concernés. Les détails à ce sujet sont décrits dans les paragraphes précédents. Afin que le maillage couvre l'intégralité du périmètre du Modèle topographique du paysage (MTP) de swisstopo, la solution existante développée par les cantons a dû être complétée par des triangles supplémentaires. Quatre points d'appui de la transformation (PAT) virtuels, situés hors de la zone couverte par le MTP, ont été introduits à cet effet et des triangles supplémentaires ont été définis en reliant les sommets des triangles bordant le territoire national à ces quatre nouveaux PAT (cf. figure 6-17). Les coordonnées MN95 de ces PAT virtuels ont été choisies de façon que plus aucune déformation ne subsiste entre MN03 et MN95. Autrement dit, les coordonnées ne se distinguent plus entre elles que par une translation de +2 millions / +1 millions de mètres respectivement. Cette décision a été prise sur la base des considérations suivantes :

- Seule une simple translation de +2 millions / +1 million de mètres est entreprise dans les zones dépourvues de maillage triangulaire pour FINELTRA.
- Les déformations en MN03 se réduisent progressivement vers ces PAT virtuels jusqu'à disparaître totalement. Les PAT virtuels étant situés loin en territoire étranger et formant de ce fait de grands triangles, les déformations diminuent lentement.

Le maillage triangulaire a par ailleurs dû être complété le long de la limite entre les cantons de Genève et de Vaud. Des informations détaillées à ce sujet comme sur les particularités de cette limite cantonale sont fournies au paragraphe 5.4.1 Zone de rupture GE/VD.

La définition des triangles ainsi formée a finalement été baptisée

CHENyx06

Cette abréviation se décompose comme suit :

CH	Territoire de la Suisse
EN	Valeurs Est (E) et Nord (N) des coordonnées en MN95
yx	Valeurs y et x des coordonnées en MN03
06	Année de création 2006

Elle comprend au total

11'882	triangles et
5'944	points d'appui de la transformation (PAT).

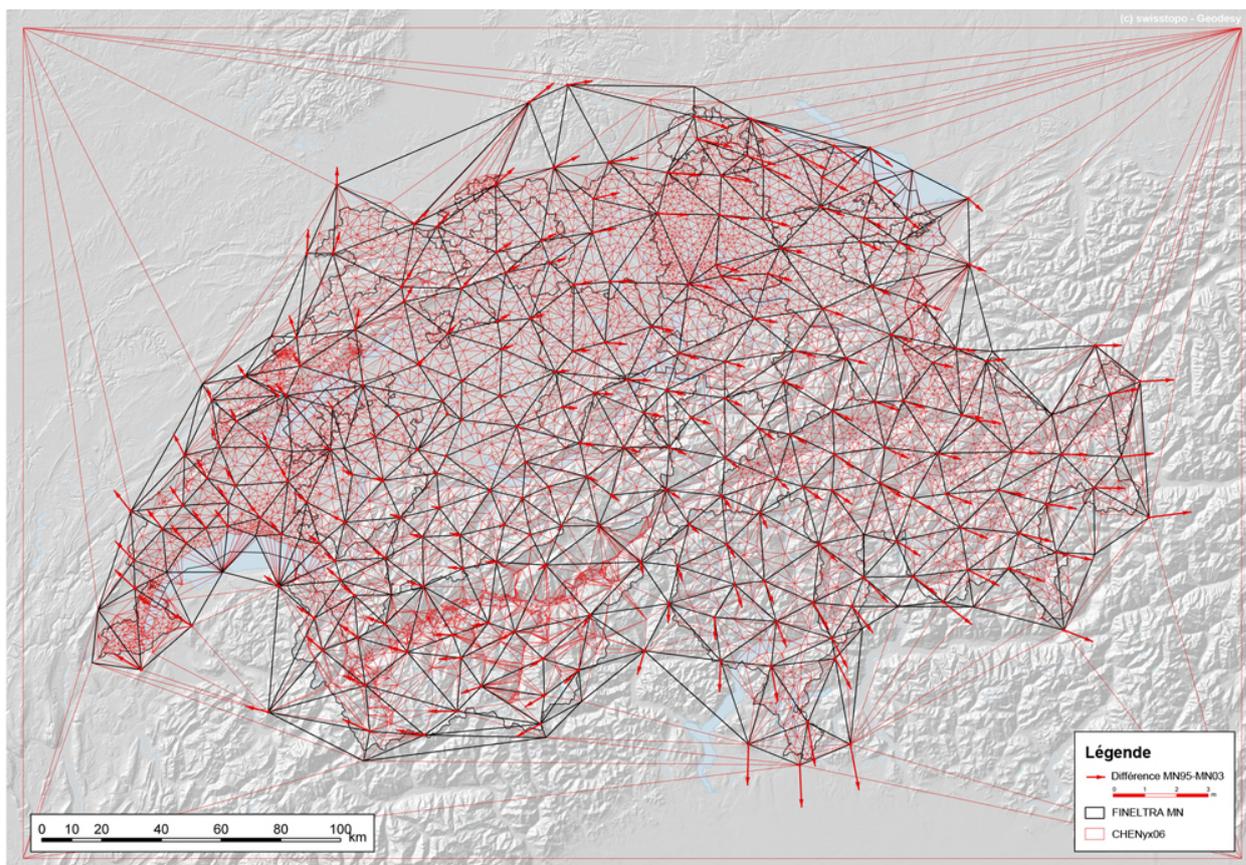


Figure 6-17 : le maillage triangulaire au niveau de la mensuration nationale est représenté en noir (FINELTRA-MN). Achevé dans les années 90, il permettait de transformer des géodonnées de MN03 en MN95 et vice versa avec une précision d'environ 1 dm. Ce maillage triangulaire a été systématiquement densifié par les cantons (triangles rouges) au cours des dernières années et swisstopo en a fait un jeu de données unifié intitulé CHENyx06.

La précision de transformation moyenne de CHENyx06 est de l'ordre de 3 cm (2D). Elle a pu être déduite de manière empirique à l'aide de points de contrôle (cf. § 6.3.3 et 6.3.5.1).

Deux jeux de données relatifs à CHENyx06 ont été créés pour les utilisateurs : le fichier binaire et la DLL. Le fichier binaire contient la définition du fichier de données FINELTRA sous une forme binaire. Il est utilisable comme définition de triangles dans le logiciel FINELTRA depuis la version 2002.3. Une bibliothèque de liens dynamiques (Dynamic Link Library, DLL) indépendante a été définie aux fins de programmation. Elle peut être intégrée dans le code source comme un sous-programme servant à la transformation de coordonnées entre MN03 et MN95. La DLL se fonde sur Microsoft.NET Framework. Le fichier binaire comme la DLL sont tenus à disposition sur le portail web officiel du changement de cadre de référence (cf. chapitre 10). Les utilisateurs doivent se faire enregistrer lors de l'obtention de données pour que les éventuelles modifications apportées au maillage triangulaire national puissent leur être adressées. Les jeux de données sont à la disposition des utilisateurs depuis la mise en service du portail web intervenue en mai 2007. La mise à disposition de CHENyx06 a par ailleurs été communiquée dans un courrier officiel adressé par swisstopo le 2 mai 2007 aux services cantonaux du cadastre, aux associations professionnelles et aux hautes écoles. Ce courrier précisait notamment que la maintenance et la distribution de CHENyx06 incombaient exclusivement au domaine Géodésie de swisstopo.

6.4.2 Analyse des déformations au niveau de la mensuration officielle

Une analyse du jeu de données CHENyx06 a été effectuée sur le modèle de la compensation de diagnostic réalisée en 1995 (cf. § 2.2). Une fois CHENyx06 achevé en février 2007, il a été possible de calculer et de représenter les déformations locales de la mensuration officielle. Les points d'appui de la transformation (PAT) avec leurs coordonnées en MN03 et MN95 ont été intégrés dans le programme « MapAnalyst » qui a calculé une grille de déformation du cadre de référence MN03 à l'aide des vecteurs des différences.

Le logiciel « MapAnalyst » a été développé par l'Institut de cartographie de l'EPF Zurich. Ce mode opératoire a permis de visualiser, pour la toute première fois, les déformations jusqu'au niveau de la mensuration officielle / de la commune sous la forme d'une trame déformée (cf. figure 6-18).

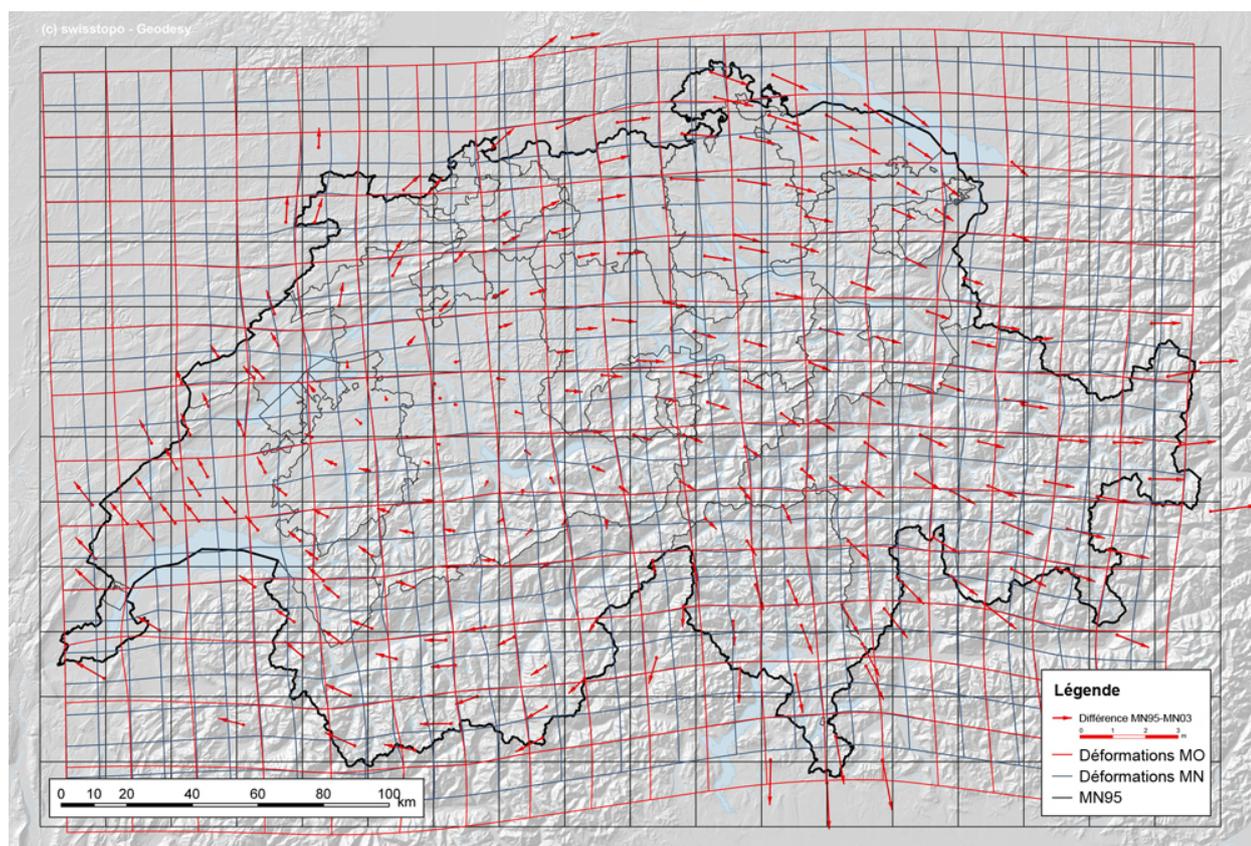


Figure 6-18 : déformations du cadre de référence de 1903 actuellement utilisé par rapport au nouveau cadre de référence de 1995, pratiquement exempt d'erreurs (MN95 = grille noire) : MN03 = grille rouge avec les déformations de la mensuration nationale (MN) et la grille bleue intégrant en outre les déformations locales de la mensuration officielle. Les flèches rouges pointent de MN03 (rouge) vers MN95 (noir), indiquant la direction et l'ampleur de la correction locale.

6.4.3 Conséquences de CHENyx06 dans la mensuration officielle

La mise en oeuvre de CHENyx06 a entraîné des conséquences dont il faut tenir compte dans le cadre de travaux en lien avec les points fixes. Ces conséquences sont rassemblées dans les « Directives pour la détermination des points fixes de la mensuration officielle » de novembre 2005 [swisstopo 2005]. Il convient également de veiller à la prise en compte de certaines caractéristiques lorsque la mise à jour s'effectue au moyen de la technologie GNSS. Le tableau 6-1 suivant regroupe les aspects principaux :

<ul style="list-style-type: none"> • Les points d'appui de la transformation (PAT) définissent le passage au cadre de référence MN95 faiblement contraint. Afin que les réseaux de points fixes puissent être déterminés et exploités indépendamment de toute déformation locale en MN03, leur positionnement doit a priori exclusivement se fonder sur les PAT et leur compensation doit systématiquement s'effectuer en MN95. Les coordonnées officielles en MN03 sont ensuite à déterminer à l'aide de CHENyx06.
<ul style="list-style-type: none"> • Les PFP2 comportent désormais trois sous-catégories dont les précisions sont différentes en MN95 : <ul style="list-style-type: none"> - les PFP2 utilisés comme PAT (PAT2) → ces points possèdent des coordonnées fiables en MN95, leur levé et leur compensation ayant été contrôlés ; - les PFP2 ayant servi de points de contrôle pour la justification de la précision de la transformation → ces points ont au moins été mesurés une fois en MN95 ; en cas de levé non contrôlé, les coordonnées sont considérées comme étant non fiables ; normalement, les différences devraient cependant rester dans la plage de tolérance admissible ; - les PFP2 transformés en MN95 via CHENyx06 → les coordonnées n'ont été créées qu'à l'aide des vecteurs de différences sur les PAT qui les entourent ; les mesures en MN95 faisant totalement défaut, il est impossible de se prononcer sur les déformations locales en MN03 dans la zone considérée, raison pour laquelle les coordonnées transformées ne peuvent dans la règle pas satisfaire aux exigences applicables aux points de rattachement de la mensuration officielle.
<ul style="list-style-type: none"> • Il découle clairement des caractéristiques décrites ci-dessus que les points de contrôle et les PFP2 transformés ne peuvent servir au positionnement de réseaux de compensation que s'ils n'exercent aucune contrainte significative sur le réseau MN95.
<ul style="list-style-type: none"> • Lors de la mise à jour de la mensuration officielle, il est impératif d'effectuer un ajustage local ou d'apporter la preuve qu'il est possible d'y renoncer [CSCC 2009]. Le visualiseur de données FINELTRA est à disposition pour une première estimation sommaire (cf. chapitre 10).
<ul style="list-style-type: none"> • Le recours à la procédure locale d'ajustage / d'interpolation doit être limité aux zones présentant de fortes déformations locales, en lesquelles la transformation via CHENyx06 se montre insuffisante et où il est impossible de satisfaire aux exigences de précision prévues par l'OTEMO.

Tableau 6-1 : conséquences pour la mensuration officielle

6.5 Service de positionnement swipos[®]

Le maillage triangulaire CHENyx06 a également été intégré au service de positionnement swipos[®] au début du mois de mai 2007, remplaçant ainsi le jeu de données FINELTRA-MN d'une précision de transformation de 1 - 2 dm. Les services restent comme auparavant à la disposition des utilisateurs de swipos[®] dans les différents cadres de référence

MN95 / RAN95
MN03 / NF02
MN95 / NF02

(cf. swipos-news 04/2006 et 01/2007), avec toutefois une précision bien supérieure qu'avant MN03. Il est désormais possible de renoncer, pour bon nombre d'applications exigeant des précisions de quelques centimètres ou décimètres, à un ajustage local et donc à une station de référence locale à mettre en place sur un point connu situé à proximité immédiate. La condition requise est que le service MN03 / NF02 de swipos[®] soit utilisé ou que cette correction soit

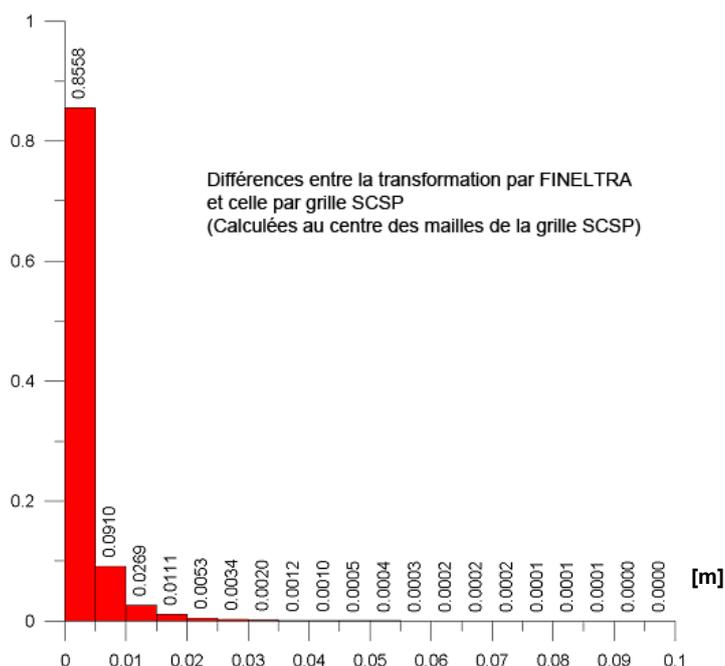
apportée a posteriori par l'utilisateur lui-même via le géoservice REFRAME. Des recommandations particulières valent en matière d'ajustage local pour les applications dont les exigences en termes de précision et de fiabilité sont élevées. Il est renoncé à un ajustage local, un justificatif prouvant le respect des exigences de précision prévues par l'OTEMO, reste par exemple demandé lors de la mise à jour de la mensuration officielle.

6.6 Méthodes d'interpolation à l'aide d'une grille / solutions approchées

L'algorithme de FINELTRA fondé sur une transformation affine locale pour le changement de cadre de référence a été introduit comme méthode officielle pour la Suisse puis repris ensuite par d'autres pays (la Finlande par exemple). Il ne s'agit pourtant pas de la seule solution possible, loin s'en faut, et elle ne correspond d'ailleurs à aucune méthode standard internationalement reconnue. D'autres pays utilisent des transformations de similitude locales (l'Allemagne et l'Autriche par exemple) ou d'autres méthodes d'interpolation des différences de coordonnées comme la collocation. Une méthode est parvenue à s'imposer comme une solution possible pour standardiser ces différentes méthodes pour les applications GNSS et SIG. Elle est basée sur la mémorisation des différences de coordonnées au sein d'une grille régulière à partir de laquelle la transformation d'un point quelconque est calculée par une méthode d'interpolation simple (exemples : bilinéaire, biquadratique, spline). Il va de soi que cette méthode fournit des résultats qui ne sont pas rigoureusement les mêmes que ceux de FINELTRA, raison pour laquelle elle est qualifiée, au moins en Suisse, de méthode approchée.

6.6.1 Grilles SCSP et SGF

La solution approchée pour la conversion de coordonnées entre MN03 et MN95 a été mise en oeuvre pour les applications en temps réel (RTK) des mobiles GNSS sous la forme d'une grille à mailles kilométriques dans le système de projection. Les coordonnées MN95 ont été calculées avec CHENyx06 pour chacun des points de la grille en MN03 et les différences en directions nord-sud et ouest-est ont été enregistrées. La transformation d'un point quelconque est alors calculée à partir des neuf points les plus proches de la grille à l'aide d'une interpolation biquadratique. Cette méthode fournit généralement une solution très proche de celle de FINELTRA voire le même résultat si les neuf points utilisés de la grille se trouvent tous au sein du même triangle du maillage. Une étude a fourni la répartition suivante des différences entre FINELTRA et la grille :



Répartition des différences :

94,7% < 1 cm

98,5% < 2 cm

99,7% < 4 cm

0,3% > 4 cm

(déduites d'une grille régulière)

Figure 6-19 : répartition des différences entre FINELTRA et la grille kilométrique

La transformation au sein d'une grille fonctionne donc en général très bien. Des restrictions à l'emploi du jeu de données n'existent qu'en présence de déformations non homogènes et très localisées en MN03. Cinq zones à problèmes ont notamment été répertoriées en Suisse, au sein desquelles un ajustage local est impératif (cf. aussi figure 6.20) :

- vallées principales du canton du Valais
- zone urbaine de Genève
- limite cantonale Vaud – Genève
- Saint-Imier
- territoire allemand entre Rafzer Feld et Klettgau

Dans ces zones, les déformations locales en MN03 sont trop importantes pour être estimées avec une précision suffisante par une grille kilométrique. Des erreurs d'interpolation pouvant atteindre 40 cm subsistent. Une réduction du pas de la grille n'apporterait qu'une faible amélioration.

La société *Leica Geosystems* a introduit sur ses capteurs GNSS et dans son logiciel de traitement, une option d'interpolation au sein d'une grille intitulée *Système de coordonnées spécifique à un pays (SCSP)* ou, en anglais, *Country specific coordinate system (CSCS)*. Le jeu de données généré pour SCSP est géré par Leica sous le nom de produit GF-FINELTRA-SIG (fichier grille FINELTRA). Chez *Trimble*, la même solution s'appelle *Shift Grid File (SGF)* et contient exactement les mêmes données de transformation, mais dans un autre format binaire.

L'applicabilité et les caractéristiques spécifiques du jeu de données généré sont décrites, pour *Leica* comme pour *Trimble*, sur une fiche technique séparée. La documentation complète des tests est fournie dans le « rapport technique de la L+T n°01-28 » [Marti 2001] et dans le rapport « swisstopo Report 07-04 » [Marti 2007].

6.6.2 Grille NTv2

Le stockage des différences de coordonnées au sein d'une grille régulière au format *NTv2 (National Transform, version 2)* s'est largement répandu comme un quasi-standard pour les applications SIG. Ce format, développé par le service géodésique canadien, a été repris par bon nombre de pays (exemple : Australie, France, Allemagne, Afrique du Sud).

A la différence des formats SCSP ou SGF, le format NTv2 recourt directement aux différences de coordonnées sur l'ellipsoïde (longitude et latitude) et non aux coordonnées en projection. Les différences de coordonnées entre deux cadres de référence sont donc indiquées en secondes d'arc en directions ouest-est et sud-nord. Il serait du reste possible également d'associer une précision à chaque différence de coordonnées. Il est en revanche impossible de spécifier une méthode pour l'interpolation au sein de la grille. L'interpolation bilinéaire est toutefois utilisée par la plupart des applications SIG.

Un fichier NTv2 avec une résolution de 30" x 30" a été créé pour la Suisse, ce qui correspond grosso modo à une résolution de 1 km en projection. Le périmètre a été choisi de façon à contenir la totalité du MTP (Modèle topographique du paysage) de la Suisse.

Les différences entre une transformation par FINELTRA et celle effectuée à l'aide de NTv2 correspondent assez précisément à celles qui apparaissent avec les grilles SCSP/SGF. Elles sont donc de niveau centimétrique sur la majeure partie du territoire suisse. Les zones à problèmes, peu nombreuses, sont également les mêmes.

Une description complète du format NTv2 et la procédure suivie pour la formation du fichier suisse figurent dans le rapport « swisstopo Report 08-20 » [Marti 2008b]. La grille NTv2 de la Suisse est proposée gratuitement aux utilisateurs sur le site Internet de swisstopo.

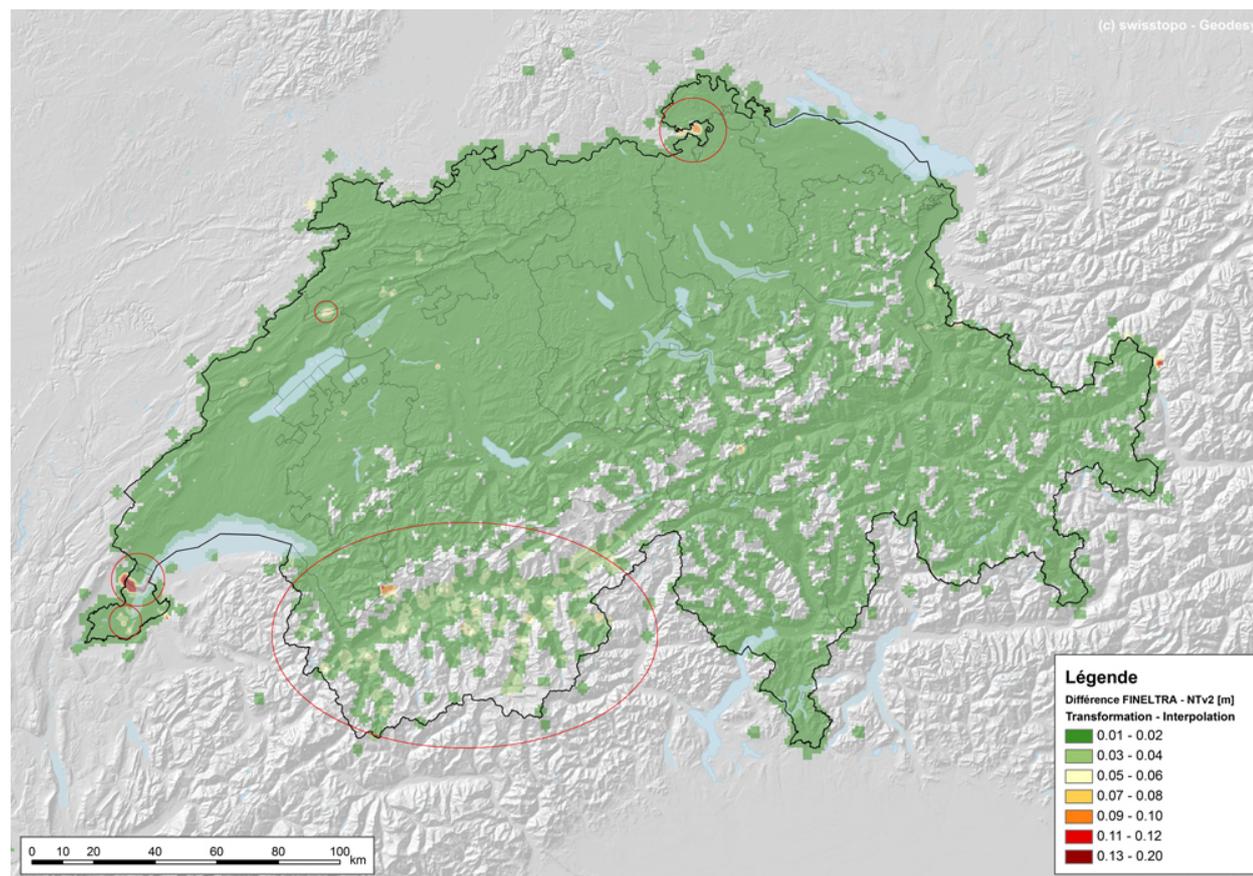


Figure 6-20 : différences entre la transformation par FINELTRA et par l'interpolation NTV2

7 Transformation de données tramées (raster)

L'algorithme de FINELTRA est particulièrement bien adapté à la transformation de points et de données vectorielles. La transformation de données tramées (des bitmaps ou des modèles numériques de terrain, par exemple) soulève quelques problèmes supplémentaires qui sont brièvement abordés par le présent chapitre.

Le géoréférencement de données tramées s'effectue généralement au travers de métadonnées (dans l'en-tête d'un fichier ou dans des fichiers supplémentaires). Y figurent au moins les coordonnées d'un coin de l'image, la taille de pixel (cellule) et l'orientation des axes. Les dimensions de l'image sont fréquemment indiquées en complément. Dans bon nombre de cas, il suffit, lors d'un changement de cadre de référence, de transformer ces méta-informations et de laisser le fichier image proprement dit (fichier tramé) inchangé. Il en va notamment ainsi lorsque les exigences de précision sont faibles, mais aussi lorsque la zone à transformer présente une très faible étendue. Des problèmes peuvent survenir en cas de torsion de l'image par la transformation, de modification marquée de l'échelle ou de fortes déformations. Dans d'autres cas, il peut s'avérer nécessaire de transformer l'image pixel par pixel. En conséquence, des méthodes différentes sont à utiliser pour la transformation des données tramées, suivant les exigences de précision à satisfaire ou la qualité de l'image.

7.1 Décalage général

Il suffit, pour bon nombre de données d'images, de transformer un seul point puis d'appliquer le décalage ainsi calculé à toute l'image. Cela correspond à une translation de l'image entière qui n'est pas changée en elle-même. Seules changent les indications des méta-informations, l'orientation et l'échelle restant toutefois inchangées. Cette méthode convient pour des images d'ampleur limitée ou pour des jeux de données exigeant une faible précision de transformation. La qualité de l'image reste conservée par cette méthode de transformation du fait de l'absence de rotations et de modifications de l'échelle.

Pour le changement de cadre de référence (de MN03 à MN95 ou vice versa), cette méthode peut être appliquée à de très nombreux jeux de données de swisstopo exigeant une faible précision planimétrique. En fait, il est souvent suffisant d'appliquer un décalage général de 2 millions / 1 million de mètres sur tout le territoire suisse. Cela vaut pour toutes les cartes pixel, images satellite, photos aériennes / orthophotos d'une résolution moins bonne que 2 m, mais également pour le MNT25 ou le modèle de géoïde. Dans le cas de données très locales dont la résolution et la précision planimétrique sont élevées (exemple : une orthophoto isolée), la détermination d'un vecteur de translation local peut se révéler judicieuse.

7.2 Transformation de similitude

Cette méthode ne se contente pas de translater l'image, elle lui fait également subir une rotation et en modifie l'échelle. Une simple transformation des métadonnées y suffit également. Un jeu de données de transformation légèrement amélioré par rapport aux métadonnées pourrait être calculé à partir des dimensions de l'image, à titre d'extension.

Une application concrète de cette méthode par swisstopo n'est pas envisagée pour l'heure. Elle pourrait cependant gagner rapidement en actualité si des données devaient être livrées en UTM ou dans une autre projection.

Un inconvénient de cette méthode réside dans le fait que chaque pixel doit être transformé en raison de la rotation et de la mise à l'échelle (rééchantillonnage), ce qui peut entraîner une détérioration de la qualité de l'image.

7.3 Interpolation inverse

Cette méthode a été décrite en détail dans une étude de la FHNW [Nebiker et al. 2002]. Chaque pixel (valeur de la grille) est d'abord soumis à une transformation inverse, du système cible vers le système source, en utilisant la formule exacte (projection, modèle de déformation) où une valeur (altitude, couleur, nuance de gris, ...) lui est attribuée sur la base des pixels (valeurs de la grille) voisins.

Cette méthode est très certainement la plus précise mais également la plus lourde, et de loin. Elle permet de reproduire toutes les déformations locales. La qualité de l'image peut toutefois s'en trouver dégradée dans certains cas, en raison du rééchantillonnage requis.

Au sein de swisstopo, cette méthode a été utilisée pour la transformation du MNT25 dans une grille géographique à intervalles de 1 seconde (ETRS89) ou lors de la transformation de modèles altimétriques étrangers dans le système de projection suisse. La méthode pourrait également être utilisée si swisstopo souhaitait générer des jeux de données à haute résolution dans un autre système de projection (UTM par exemple).

7.4 Transformation à l'aide de points d'ajustage, NTV2

Bon nombre de systèmes de CAO/DAO et de SIG permettent la transformation de données d'images en utilisant quelques points d'ajustage dont les coordonnées sont connues dans les deux systèmes. Les 4 coins de l'image ou d'autres points quelconques peuvent être utilisés comme points d'ajustage. La plupart des systèmes de CAO/DAO et des SIG permettent de choisir la méthode d'interpolation. Au sein de swisstopo, cette méthode est par exemple utilisée par le domaine Cartographie pour la transformation de cartes-pixel étrangères dans le système de projection suisse.

Une grille NTV2 (cf. § 6.6.2) peut être considérée comme un cas particulier de cette méthode, les 'points d'ajustage' étant répartis selon une grille régulière. De nombreux SIG l'acceptent d'ores et déjà. Bien évidemment, des effets de rééchantillonnage apparaissent également lors de la transformation à l'aide de points d'ajustage ou d'une grille NTV2.

7.5 Transformation d'une mosaïque tramée

La transformation de jeux de données composés d'images isolées réunies pour former une mosaïque cohérente (exemple : Swissimage) soulève divers problèmes supplémentaires : on souhaiterait obtenir une image d'un seul tenant dans le système cible, sans chevauchements ni lacunes, et l'on souhaite généralement obtenir le même 'découpage en feuilles' régulier du système de départ. Une simple transformation (translation) des métadonnées ne suffit plus dans un tel cas. Il convient donc d'opter pour une méthode plus rigoureuse, comme l'interpolation inverse ou la transformation NTV2, en acceptant les éventuels inconvénients inhérents à un rééchantillonnage, ou de compléter légèrement la méthode de translation simple. C'est l'option qui a été retenue pour la transformation de Swissimage. Les raisons de ce choix sont brièvement exposées ici :

Swissimage (Level 2) présente une résolution d'image (taille de pixel) et une précision de 25 cm. Par conséquent, une transformation du jeu de données à l'aide d'un décalage global de 2 millions / 1 million de mètres aurait entraîné une dégradation de la précision planimétrique, raison pour laquelle elle a été écartée. La transformation séparée de chacune des images de la mosaïque provoquerait quant à elle l'apparition aux jointures des lacunes et des chevauchements déjà évoqués plus haut. Les études réalisées ont toutefois montré que ces problèmes ne dépassaient nulle part la taille d'un pixel. Il a donc été décidé que les lacunes seraient comblées en doublant certaines rangées de pixels, ce qui est à peine perceptible dans le fichier transformé. Les chevauchements ont été traités en faisant disparaître une rangée de pixels, là aussi sans dégradation perceptible de la qualité de l'image.

L'orientation régulière des carreaux dans le système cible est obtenue en ne transformant pas les métadonnées comme les données des images proprement dites mais en les translatant

simplement de 2 millions / 1 million de mètres. En résumé, la procédure suivante en résulte pour le changement de cadre de référence de Swissimage :

- les métadonnées sont transformées par un décalage global de 2 millions / 1 million de mètres
- le centre de chaque carreau MN03 est transformé de façon rigoureuse en MN95. Les différences de coordonnées sont arrondies à 25 cm (1 pixel)
- l'extrait requis en MN03 est ensuite découpé dans le jeu de données MN95 puis reconstitué (à partir de 1, 2 ou 4 carreaux)
- les carreaux ainsi créés ne comportent pas de rangées de pixels doublées ; seul un assemblage avec des carreaux voisins fait apparaître des rangées de pixels doublées ou disparaître certaines rangées de pixels.

Il convient de souligner ici que cette procédure n'a été étudiée que dans l'optique du changement de cadre de référence de MN03 à MN95 qui ne comporte que des déformations relativement faibles. Pour d'autres transformations (vers UTM par exemple), il conviendrait, en raison notamment des fortes torsions, de recourir à d'autres méthodes qui peuvent difficilement se passer d'un rééchantillonnage (transformation inverse ou grille NTV2 par exemple).

La documentation complète relative à la transformation de données tramées à l'exemple de Swissimage peut être consultée dans le rapport « swisstopo-Report 08-18 » [Marti 2008a].

8 Traitement des altitudes

swisstopo a introduit le nouveau réseau altimétrique national RAN95 dans la mensuration nationale géodésique au double titre d'élément constitutif de la nouvelle mensuration nationale MN95 et de complément des altitudes usuelles NF02 existantes. Le concept et la mise en oeuvre de RAN95 sont exposés dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et Marti 2007] ainsi que dans [Schlatter 2006]. Ces deux rapports contiennent en outre des informations détaillées relatives aux types et aux systèmes altimétriques, à la genèse des altitudes usuelles NF02 et à la mise en oeuvre du passage entre les deux cadres altimétriques utilisés en Suisse, RAN95 et NF02. Le présent chapitre ne traite que les aspects essentiels en rapport avec la détermination des altitudes pour la mensuration officielle.

8.1 Lien entre les altitudes RAN95 et NF02

Les altitudes RAN95 sont définies comme des cotes orthométriques, de sorte qu'elles correspondent à la distance du point au géoïde comptée le long de la verticale. Une relation simple lie les cotes orthométriques H , les cotes ellipsoïdiques h et les ondulations N : $H_{\text{orth}} = h_{\text{ell}} - N$ (cf. figure 8-1). Les cotes orthométriques résultent donc des cotes ellipsoïdiques corrigées des ondulations (ou cotes) du géoïde. Par conséquent, les cotes ellipsoïdiques MN95, le modèle de géoïde CHGeo2004 et les cotes orthométriques RAN95 sont à considérer comme des composants indissociables du système de référence CH1903+ (cf. § 3.1.1).

Les altitudes RAN95 peuvent être calculées directement et en toute rigueur à partir des cotes ellipsoïdiques mesurées, à l'aide des systèmes GNSS et du modèle de géoïde approprié (CHGeo2004). La qualité de ces altitudes résulte principalement de la précision des mesures GNSS et du modèle de géoïde. Cette détermination simple et absolue des altitudes au moyen de méthodes de géodésie par satellites constitue l'atout majeur du nouveau réseau altimétrique national RAN95 pour les utilisateurs.

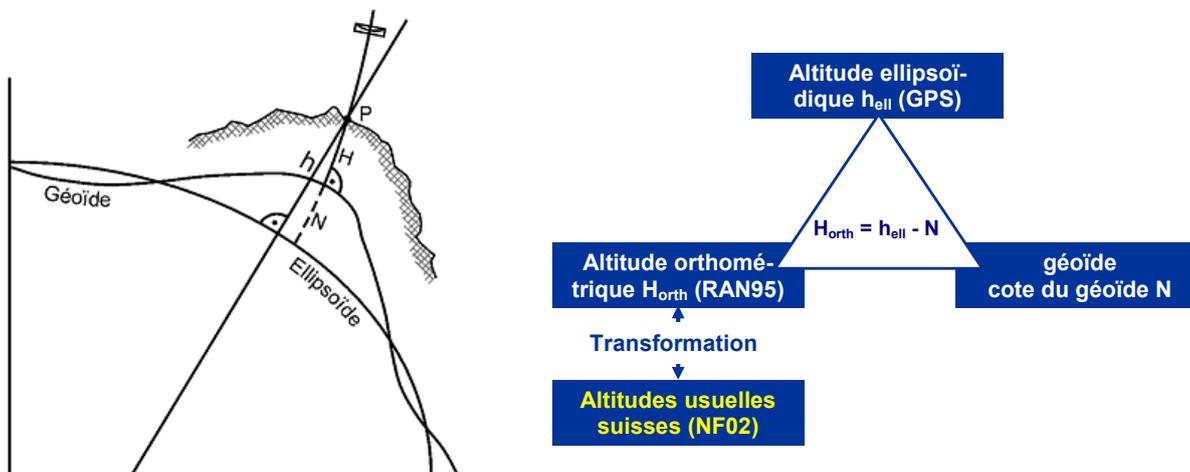


Figure 8-1 : lien entre les cotes ellipsoïdiques, les cotes orthométriques RAN95, le modèle de géoïde et les altitudes usuelles NF02

En Suisse, la quasi-totalité des informations altimétriques utilisées sur les cartes ou les plans, par les données de la mensuration officielle, etc. sont des altitudes usuelles, c'est-à-dire des altitudes définies dans le cadre de référence NF02. Ces altitudes ne sont pas orthométriques. Elles résultent pour l'essentiel de l'intégration contrainte des mesures du nivellement fédéral (réalisées du début du 20^{ème} siècle à aujourd'hui) au sein du réseau des altitudes du nivellement de précision déterminé par la Commission géodésique suisse (1864 - 1891). La désignation 'NF02' résulte de la définition de l'altitude de référence (Repère Pierre du Niton en rade de Genève) en 1902 avec une valeur de 373,6 m. Les réductions gravimétriques telles qu'elles sont par exemple pratiquées par nos voisins français et allemands pour le calcul d'altitudes rigoureuses, n'ont jamais été prises en compte pour les altitudes officielles en

Suisse. Depuis le début du 20^{ème} siècle, les réseaux de points fixes altimétriques cantonaux et communaux (PFA2 et PFA3), la triangulation de 4^{ème} ordre (PFP2) et les points fixes pour la mensuration parcellaire (PFP3) forment la densification du cadre des altitudes usuelles NF02 pour la mensuration officielle (MO) et d'autres œuvres appuyées sur une référence altimétrique (cadastre des conduites, plans d'affectation, etc.).

La figure 8-2 présente les différences entre RAN95 et NF02 le long du réseau altimétrique national (RAN) et d'un petit nombre de lignes cantonales complémentaires. Les écarts se situent dans une fourchette allant de -20 cm à +40 cm, avec des valeurs plutôt négatives dans le nord de la Suisse et majoritairement positives dans les Alpes. Un examen plus approfondi de la figure 8-2 révèle que les différences présentent non seulement une part *planimétrique* mais également une composante *altimétrique* (cf. par exemple la ligne du Col du Susten). Les écarts entre RAN95 et NF02 se composent fondamentalement de trois parties différentes :

- les déformations (contraintes) dans les altitudes usuelles NF02
- l'influence des mouvements verticaux (soulèvement alpin récent)
- une part systématique due à l'influence du champ de pesanteur.

Une analyse de chacune de ces composantes est faite dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et Marti 2007].

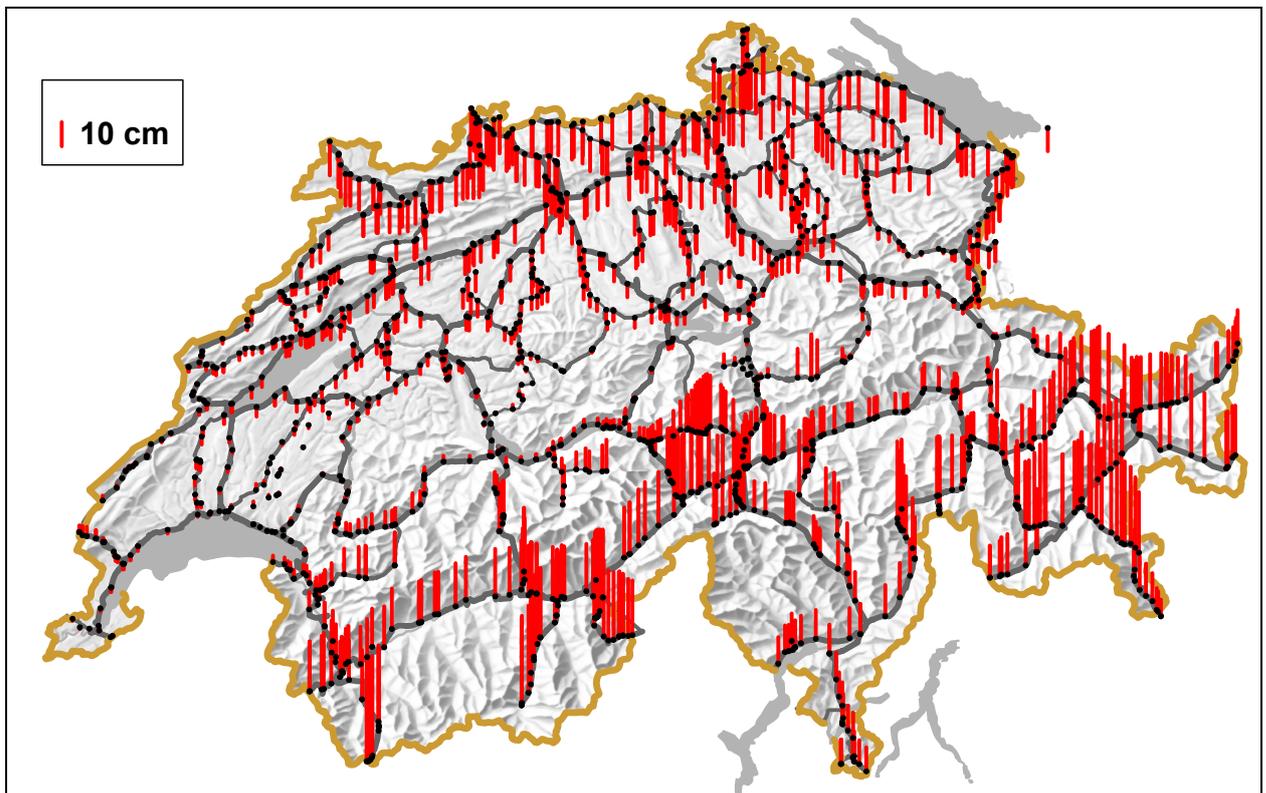


Figure 8-2 : différences entre les cotes orthométriques RAN95 et les altitudes usuelles NF02

8.2 Situation initiale

L'idée de départ du projet MN95 était d'introduire les altitudes RAN95 dans la MO en remplacement de NF02. En dépit de l'avantage majeur du nouveau réseau altimétrique national RAN95 (détermination des altitudes via GNSS), la direction de swisstopo a décidé, en juin 2002, de maintenir NF02 comme système de référence altimétrique pour la mensuration officielle et donc de renoncer à un passage en RAN95. Cette décision entérinait la proposition du CC DG/MN95 formulée à la suite de réunions et de l'audition de divers utilisateurs des données de la MO et du domaine Géodésie. La décision a été exposée en détail aux autorités de surveillance cantonales dans la circulaire n°2002/04 de la Direction fédérale des

mensurations cadastrales (D+M) et communiquée à un public plus large dans un article paru dans la revue 'Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural' [Wicki et al. 2002].

La majorité des professionnels consultés était d'avis que des indications altimétriques absolues présentaient peu d'intérêt en pratique et que les défauts d'homogénéité du cadre de référence altimétrique actuel NF02 étaient bien moins gênants qu'en planimétrie. Une grande importance était en revanche accordée à la précision locale relative entre les points altimétriques. Et celle-ci ne peut pas (encore) être atteinte par la détermination altimétrique par GNSS.

Le CC DG/MN95 a par ailleurs invoqué les raisons suivantes :

- Le risque de confusion (entre RAN95 et NF02) et donc le risque de commettre des erreurs aux conséquences financières lourdes est très élevé, les différences entre NF02 et RAN95 étant à peine perceptibles¹.
- Une grande partie des données altimétriques numériques n'est pas encore prête pour la transformation, les coordonnées planimétriques associées faisant défaut.
- Bon nombre de cotes altimétriques sont utilisées au sein de séries temporelles, le changement de cadre créerait donc une discontinuité.
- A l'heure actuelle, les normes relatives à l'introduction d'un système altimétrique européen reposent sur des bases trop peu sûres et insuffisamment acceptées pour que des adaptations ultérieures puissent être exclues.
- Le débat et les préparatifs concernant la planimétrie (introduction de MN95) en sont à un stade bien plus avancé que dans le domaine altimétrique. Une association de la planimétrie et de l'altimétrie pourrait avoir des conséquences néfastes sur la mise en œuvre déjà décidée en planimétrie.

Il résulte de cette décision que le changement de système vers MN95 reste sans influence sur l'ensemble des altitudes existantes en Suisse. Cette décision entraîne toutefois des limitations au niveau de la précision a priori du système de référence et de la simplicité d'utilisation de mesures GNSS pour la détermination des altitudes usuelles.

Indépendamment de la décision négative prise concernant RAN95 dans la MO, swisstopo se devait de développer une transformation utilisable aussi bien en ligne (sur les récepteurs GNSS comme par les services de correction) qu'en post-traitement.

8.3 La modélisation du passage RAN95 ⇔ NF02

8.3.1 Jeu de données de base

Les données de base à disposition pour l'analyse des cadres altimétriques RAN95 et NF02 proviennent principalement de la compensation globale cinématique du nivellement fédéral (1073 PFA1 mesurés à plusieurs reprises et 334 mesurés une seule fois le long du RAN). Cette compensation englobait les lignes PFA2 suivantes, à la disposition de swisstopo à cette époque :

- Gsteigwiler–Zweilütschinen–Grindelwald/Stechelberg (canton de Berne) : mesurée en 1989
- Signau–Oberei–Steffisburg (canton de Berne) : mesurée en 1998
- Dagsmarsellen–Willisau–Wollhusen (canton de Lucerne) : mesurée en 2001

¹ La solution élégante retenue pour distinguer les nouvelles coordonnées planimétriques (MN95) des anciennes en introduisant des translations de type 'faux nord' et 'faux est' n'est pas envisageable pour les altitudes pour des raisons purement pratiques.

- Flamatt–Laupen–Kerzers (canton de Berne) : mesurée en 2002
- Bedretto (canton du Tessin) : mesurée en 2003
- Burgdorf–Soleure (cantons de Bern et de Soleure) : mesurée en 2003
- Schaffhouse–Merishausen–Bargen (canton de Schaffhouse) : mesurée en 2004

Un appel lancé par le CC DG/MN95 aux services cantonaux du cadastre n'a permis d'intégrer qu'un faible nombre de lignes supplémentaires :

- Altdorf–Isenthal (canton d'Uri) : mesurée en 1985/86
- Oberland zurichois : plusieurs lignes entre Rapperswil et Winterthur : mesurées en 1990
- Ramsei–Huttwil–Langenthal (canton de Berne) : mesurée en 2001/04

Au total, 1'431 points étaient disponibles pour l'analyse des différences et intégrés dans le jeu de données de base pour la transformation (cf. points sur la figure 8-2).

8.3.2 Analyse des différences entre RAN95 et NF02

Les différences entre RAN95 et NF02 proviennent de trois causes essentielles : les *tensions internes au réseau NF02*, le "soulèvement alpin" négligé au sein de NF02, la *différence entre les types d'altitudes (cotes orthométriques / altitudes de nivellement pures)*. Comme cela a été clairement mis en évidence dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et al. 2007], les deux premières influences (tiraillements et mouvements verticaux) ne sont pas directement séparables. La différence entre les *types d'altitudes* se caractérise par une composante liée à l'altitude (cf. figure 8-3). Ces influences ne peuvent être dissociées les unes des autres qu'en recourant aux altitudes normales. La différence RAN95 - NF02 peut donc être exprimée comme suit :

$$H_{RAN95} - H_{NF02} = (H_{Norm} - H_{NF02}) + (H_{RAN95} - H_{Norm}) = f(y, x) + g(y, x, H)$$

Les figures 8-3 et 8-4 suivantes présentent les composantes ainsi dissociées :

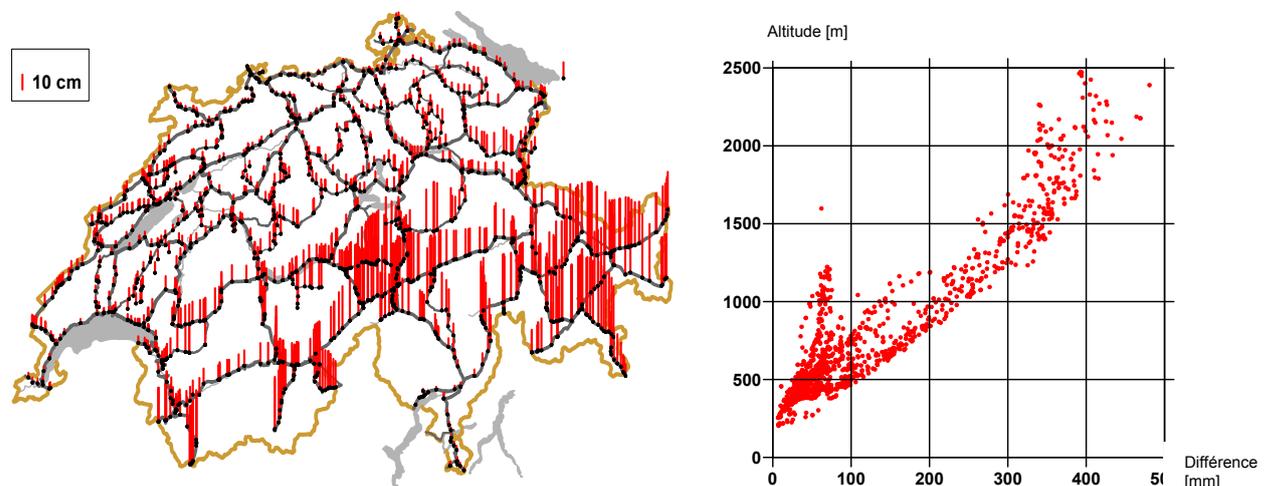


Figure 8-3 : différence entre les cotes orthométriques et les altitudes normales RAN95 ($H_{RAN95} - H_{Norm}$), à droite : les différences [mm] en fonction des altitudes [m]

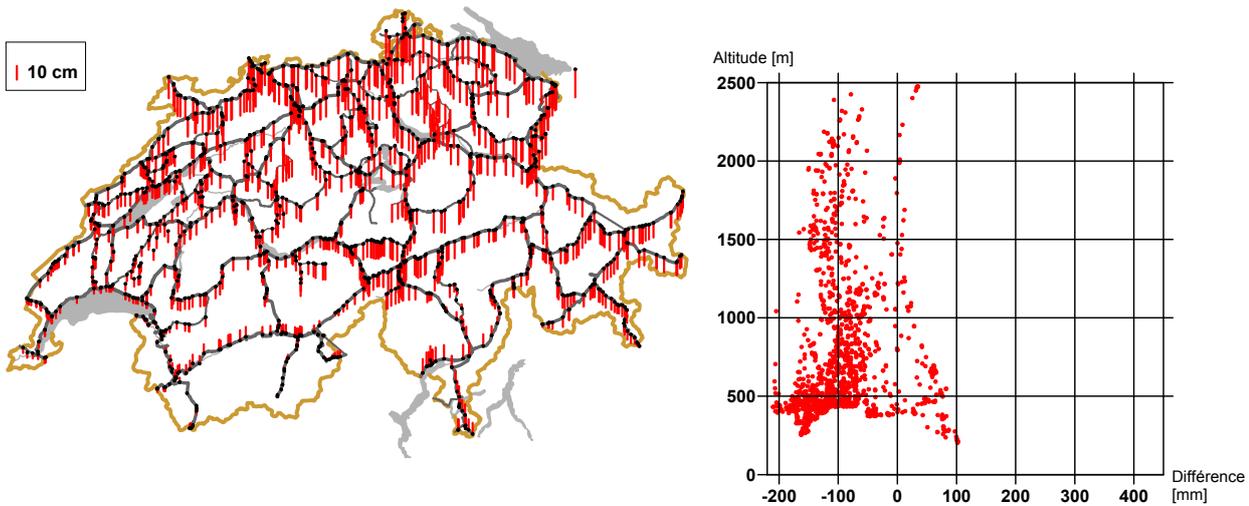


Figure 8-4 : différence entre les altitudes normales RAN95 et les altitudes usuelles NF02 ($H_{Norm} - H_{NF02}$), à droite : les différences [mm] en fonction des altitudes [m]

Les différences peuvent être suffisamment bien modélisées par une composante f ne dépendant que de la position planimétrique du point et par une composante g dépendant de sa position planimétrique et de son altitude.

8.3.3 Mise en oeuvre de la transformation

La transformation devrait se présenter sous une forme simple pour les utilisateurs, afin de pouvoir être appliquée rapidement et sans avoir à procéder à des mesures complémentaires. La solution pragmatique consiste alors à utiliser des interpolations de surface pour les dépendances planimétriques et une fonction simple pour la dépendance altimétrique.

Le jeu de données existant permet de définir une grille régulière kilométrique pour la fonction $f(y, x)$ reproduisant la dépendance planimétrique (altitude normale - NF02).

L'écart entre la cote orthométrique et l'altitude normale dépend directement de la différence entre la pesanteur normale moyenne \bar{g}_{norm} et la pesanteur moyenne effective le long de la verticale \bar{g} . Il croît linéairement avec l'altitude au-dessus du niveau de la mer :

$$H - H^N = H \cdot \frac{\bar{g} - \bar{g}_{norm}}{\bar{g}_{norm}}$$

Le calcul de la pesanteur moyenne le long de la verticale requérant un volume de travail élevé, on recourra aux anomalies de Bouguer Δg_{Boug} qui fournissent, en règle générale, une très bonne approximation :

$$(H - H^N)[mm] \cong -\Delta g_{Boug}[mgal] \cdot H[km]$$

L'écart résiduel entre les méthodes rigoureuse et approchée est modélisé sous la forme d'une composante supplémentaire dépendant de la position planimétrique $f_{Rest}(y, x)$, sur la base des corrections sur les points d'appui. Sur le Plateau et dans le Jura, ces corrections sont pratiquement nulles. Dans les Alpes, les résidus sont généralement inférieurs à 5 cm. Le Matternal fait figure d'exception avec des écarts dépassant légèrement les 10 cm.

Au final, la transformation complète avec ses trois surfaces d'interpolation est exprimée par la formule suivante :

$$H_{RAN95} = H_{NF02} + f_{Norm-NF02}(y, x) + f_{rest}(y, x) - \Delta g_{Boug}(y, x) \cdot H$$

La figure 8-5 présente les différences ainsi calculées sous la forme d'une surface couvrant l'ensemble du territoire suisse.

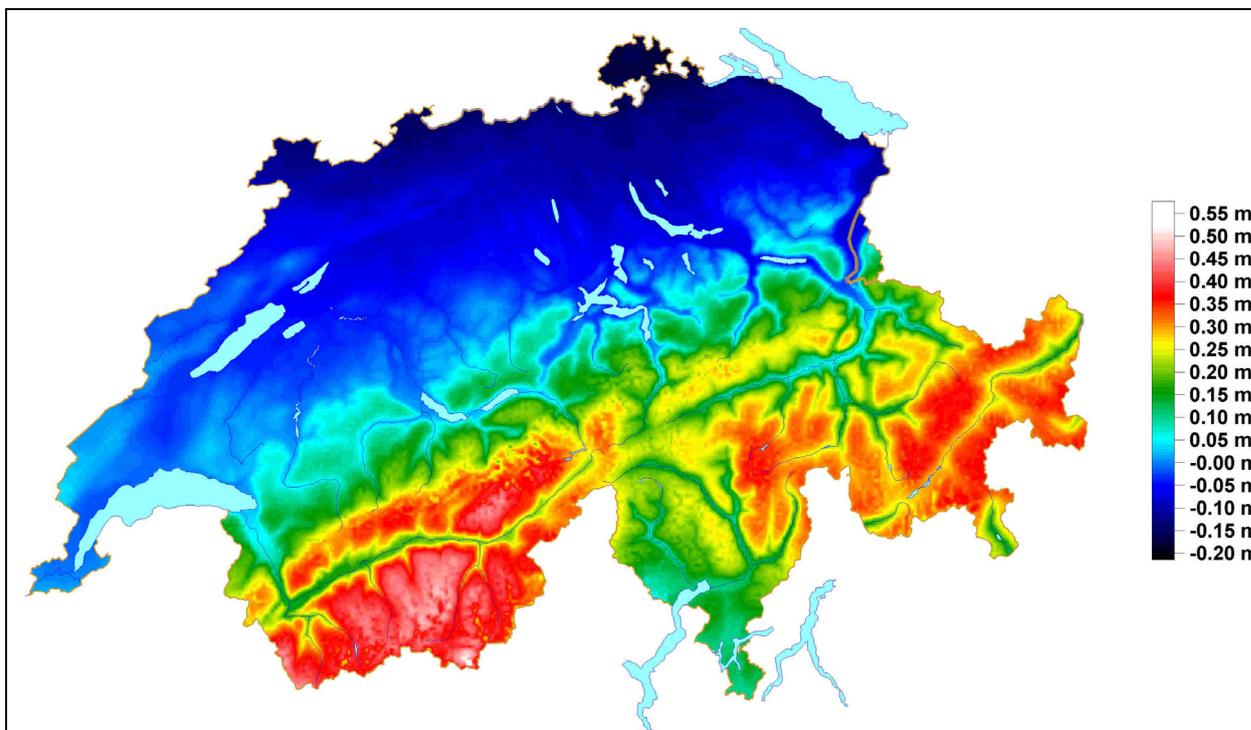


Figure 8-5 : vue d'ensemble de la différence globale entre RAN95 et NF02

D'autres informations, relatives par exemple à la transformation à l'aide d'une seule surface de transition (en combinaison avec les cotes du géoïde) et à la représentation exacte des points d'appui sont fournies dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et Marti 2007].

8.4 Le logiciel de transformation *HTRANS* - partie intégrante de *REFRAME*

Un programme utilisable en pratique pour la transformation entre les deux cadres altimétriques RAN95 et NF02 doit permettre l'exécution des deux applications suivantes :

1. la transformation de jeux d'altitudes entre les deux cadres altimétriques
2. la transformation des mesures GNSS de RAN95 en NF02.

La première application sert à transformer des jeux de données existants (listes de points, fichiers d'altitudes) d'un cadre altimétrique à l'autre.

L'intérêt de la seconde application peut sembler moins évident à première vue. Quiconque souhaite cependant déterminer par GNSS des valeurs précises et localement adaptées dans le cadre des altitudes usuelles NF02, doit procéder à une transformation approchée en NF02 de ses altitudes GNSS précises, corrigées via le modèle de géoïde, pour les exploiter ensuite sous cette forme localement adaptée à l'aide d'un programme de compensation approprié. Il s'agit là de la détermination classique de l'altitude de points fixes par GNSS pour la mensuration officielle.

Un programme de swisstopo baptisé *HTRANS* répond à ces exigences. Ce logiciel a par ailleurs été étendu afin que toutes les variantes de conversion en lien avec les cotes ellipsoïdiques dans le cadre de référence MN95 soient possibles. Le calcul des cotes du géoïde CHGeo2004 est également intégré dans *HTRANS*. De nombreuses données (mesures, listes de coordonnées) étant encore exprimées sous forme de cotes orthométriques provisoires référées à l'ancien modèle de géoïde CHGeo98, cette variante de conversion est aussi proposée.

Les modules *HTRANS* font partie du logiciel *REFRAME* couvrant les transformations planimétriques et altimétriques d'importance pour la mensuration officielle (cf. chapitre 9).

swipos-GIS/GEO (service de positionnement GNSS de swisstopo) propose en outre un service *HTRANS* en temps réel pour la détermination automatique d'altitudes NF02.

8.5 Etudes de précision avec des données existantes

Des calculs test et des études de précision détaillés figurent dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et Marti 2007]. Les investigations portant sur les points du réseau national GPS MN95 sont présentées dans la suite, à titre d'exemple. Les altitudes de ces points sont disponibles à des niveaux de qualité très divers mais extrêmement représentatifs.

Plus de la moitié de 220 points sont directement rattachés à RAN. On dispose les concernant d'altitudes précises et contrôlées en RAN95 et en NF02, la cohérence avec le modèle de géoïde CHGeo2004 est donc assurée. Ces points font simultanément partie des 1'431 points d'appui de la transformation pour *HTRANS*. Du fait de leur détermination altimétrique multiple par GNSS, ces points présentent tous une cote ellipsoïdique en MN95 d'une précision de l'ordre de ± 1 à 1,5 cm.

Les altitudes NF02 des points sans lien avec RAN ont été déterminées par un rattachement local aux PFP2 les plus proches au moyen de mesures trigonométriques ou GPS. Ces altitudes sont par conséquent de qualités très différentes ; elles représentent toutefois l'horizon local des altitudes usuelles existantes entre les lignes de RAN et en dehors de celles-ci.

Afin de tester la précision de transformation, les cotes ellipsoïdiques des points MN95 sont transformées en NF02 à l'aide de *HTRANS* et comparées aux altitudes usuelles existantes.



Figure 8-6 : différences entre les altitudes usuelles NF02 existantes et transformées à l'aide de *HTRANS* sur les points MN95 et les stations AGNES ; points verts : points d'appui de la transformation ; points bleus : pas de lien avec RAN

L'écart est de l'ordre de quelques millimètres sur les points d'appui (points verts). Les points restants (bleus) présentent une grande hétérogénéité. Les différences sont généralement inférieures à 3 cm sur le Plateau tandis qu'elles atteignent 15 cm dans l'espace alpin.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ces résultats de tests :

- Les écarts le long des lignes RAN sont de l'ordre de ± 10 cm. La répartition est plus ou moins aléatoire, en dépit de différences majoritairement positives entre les altitudes NF02 effectives et transformées. La distribution reflète pour l'essentiel la précision des altitudes usuelles des PFP qui ne sont pas directement reliés à RAN et indique par conséquent la précision de transformation absolue que l'on peut attendre ici. Elle avoisine ± 3 cm sur le Plateau et ± 5 cm dans l'espace alpin.
- L'origine de ces différences ne peut être attribuée que marginalement à la méthode de transformation. Elle réside plutôt dans la précision limitée du cadre altimétrique NF02 à côté des lignes RAN. Aucune solution miracle n'est à espérer d'une transformation ici, car elle ne peut pas fournir de résultats d'une qualité supérieure à celle des données existantes.

8.6 Conséquences pour la MO, perspectives et remarques finales

NF02 étant conservé, la base altimétrique de la mensuration officielle reste pratiquement inchangée. Les conséquences qui en découlent pour les utilisateurs de GNSS ont été mises en évidence dans swisstopo Doku 20 [Schlatter et Marti 2007] en s'appuyant sur l'exemple du canton du Valais. L'important dans ce contexte est que le traitement altimétrique des réseaux de points fixes de grande ampleur soit réalisé correctement (modèle de géoïde/*HTRANS*). Cela suppose de procéder avec soin au choix des points de rattachement. Les directives de novembre 2005 portant sur la détermination des points fixes de la MO [swisstopo 2005] ainsi que la notice pour les déterminations altimétriques avec GNSS dans la MO [swisstopo 2004a] constituent une aide importante à ce propos.

A la différence de CHENyx06, *HTRANS* n'est pas un jeu de données de transformation rigoureux. Les lignes du réseau altimétrique national continuent à être renouvelées périodiquement. Depuis la définition de *HTRANS* en 2004, des extensions de réseau et de nouvelles mesures cantonales, susceptibles de contribuer à un gain de qualité local sont réalisées. swisstopo se réserve le droit d'améliorer le modèle de géoïde ainsi que *HTRANS*.

En revanche, le désagréable constat que NF02 ne peut guère être amélioré par des mesures GNSS n'a rien d'une évidence. A la différence de la planimétrie, il n'existe, entre les *systèmes altimétriques* à la base des cadres de référence RAN95 et NF02, ni lien mathématique ni lien physique rigoureux (à moins que l'on ne considère *HTRANS* comme une surface de référence rigoureuse). Il convient par ailleurs de tenir compte de l'existence ou non de données altimétriques nombreuses et rattachées aux points fixes de la MO avant de procéder à des modifications majeures.

La qualité des altitudes NF02 existantes est souvent mal évaluée. Elle devrait être très élevée le long des lignes du réseau altimétrique national (pour autant que l'on s'y soit rattaché) et des nivellements cantonaux de valeur équivalente. Leurs PFA couvrent une grande partie des zones urbanisées en Suisse. Entre ces mailles, la densification ne s'est effectuée qu'à travers les réseaux PFP2. C'est surtout dans l'espace alpin que la qualité doit être considérée comme étant douteuse, du fait de l'âge des mesures, du positionnement et de la stabilité des points. Il s'agit d'un facteur à ne pas sous-estimer dans le cas d'écarts majeurs, aux côtés des erreurs aléatoires des mesures GNSS, du modèle de géoïde et de la méthode de transformation *HTRANS*.

9 Le logiciel de transformation REFRAME

9.1 Solution client et géoservice

Afin d'apporter le meilleur soutien possible aux producteurs de géodonnées lors du changement de cadre de référence, swisstopo a développé le logiciel REFRAME intégrant toutes les transformations utilisées en Suisse. REFRAME réunit non seulement les programmes géodésiques antérieurs FINELTRA, CHGEO, HTRANS, GPSREF et TRANSILI mais leur adjoint de nouvelles fonctionnalités : par exemple des outils permettant de convertir des fichiers de coordonnées LTOP en fichiers de mesure ou réciproquement. Des données brutes GNSS (NMEA) ou des fichiers texte en coordonnées nationales suisses peuvent être convertis au format KML pour *Google Earth / Maps* (cadre de référence WGS84) ou dans un format accepté par *Swiss Map*, dans le but par exemple de documenter l'itinéraire retenu pour une randonnée à ski ou une course en montagne.

REFRAME est disponible en version client, sous forme de service web et peut également être utilisé en mode de traitement par lots (batch).

Actuellement, le logiciel accepte les formats quasi-standard LTOP (KOO et MES), Autocad DXF, ESRI Shapefile, Interlis 1, Adalin ainsi que des formats texte avec séparateur (exemple : Excel csv). Une transformation raster de métadonnées pour les formats GeoTIFF, ECW ainsi qu'ESRI World file (TFW, JPW, etc.) a été implémentée fin 2008 dans la version client.

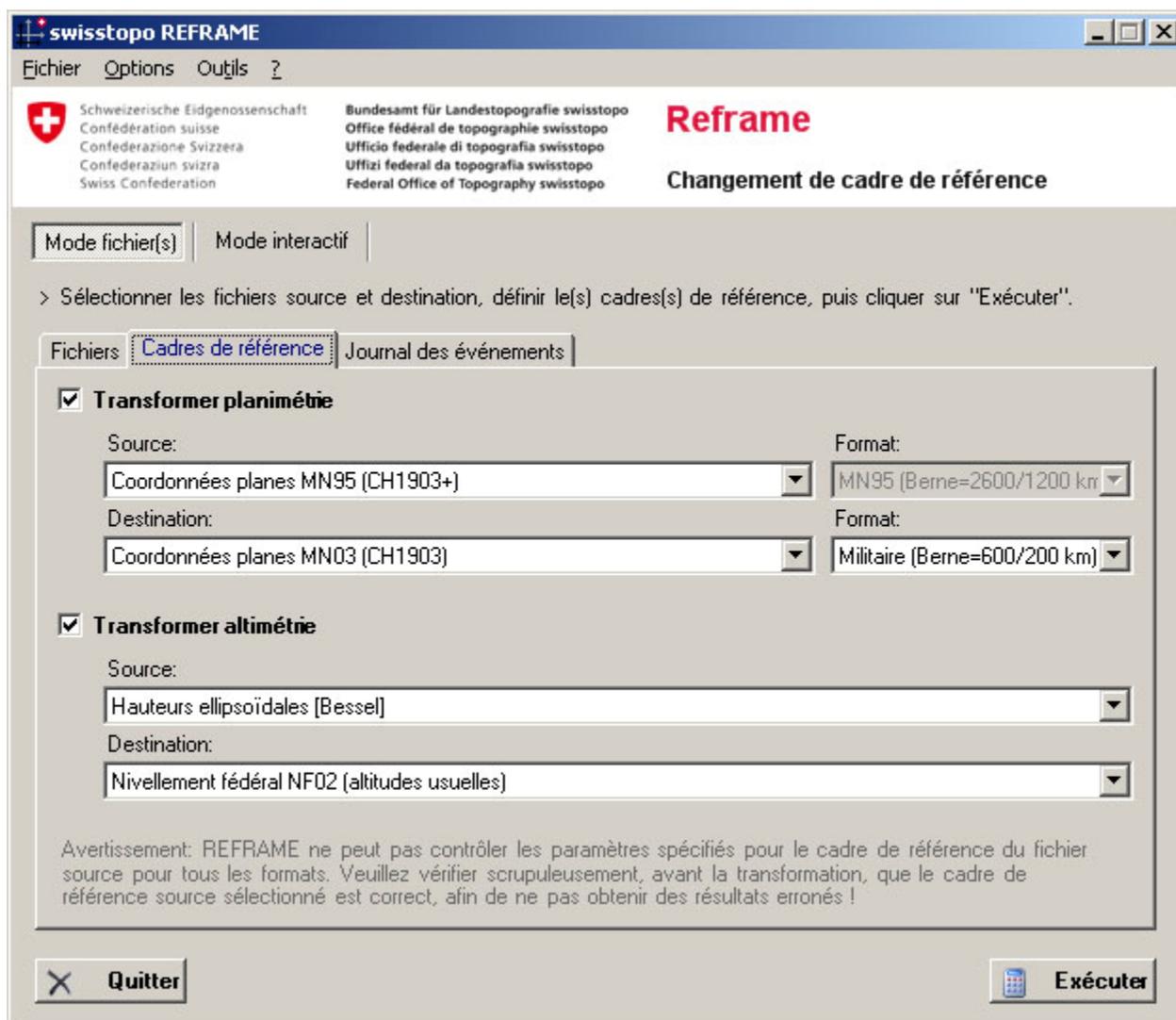


Figure 9-1 : interface utilisateur du nouveau logiciel de transformation REFRAME à l'aide duquel les cotes du géoïde (CHGeo98 et 2004) et la différence NF02 ↔ RAN95 (HTRANS) peuvent être calculées, en complément de la transformation MN03 ↔ MN95. Il est également possible, en outre, de convertir les coordonnées nationales suisses dans des systèmes de référence globaux comme ETRS89 ou encore en WGS84.

swisstopo: REFRAME - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/apps/calc/iframe.html

swisstopo: REFRAME

1. Fichier de coordonnées:

Fichier source:

Limitation: Seuls des fichiers jusqu'à 5 Mb peuvent être traités !
Attention: les caractères spéciaux (accents, espace, etc.) dans le nom du fichier ne sont pour l'instant pas supportés !

2. Souhaitez-vous transformer la planimétrie, l'altimétrie ou les deux simultanément ?

Transformation planimétrique
 Transformation altimétrique

3. Définissez les cadres de référence source et destination pour la planimétrie.

Système initial	Format	Système final	Format
Coordonnées planes MN03 (CH1903)	<input type="radio"/> Militaire (Berne=600/200 km) <input type="radio"/> Civil (Berne=0/0 km)	Coordonnées planes MN03 (CH1903)	<input type="radio"/> Militaire (Berne=600/200 km) <input type="radio"/> Civil (Berne=0/0 km)
Coordonnées planes MN95 (CH1903+)	(Berne=2600/1200 km)	Coordonnées planes MN95 (CH1903+)	(Berne=2600/1200 km)
Coordonnées globales ETRF93 / CHTRF95 (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	<input type="radio"/> XYZ [m] (\$\$\$D) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [gon] (\$\$\$E)	Coordonnées globales ETRF93 / CHTRF95 (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	<input type="radio"/> XYZ [m] (\$\$\$D) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [° ° °] (\$\$\$E) <input type="radio"/> Lon/Lat/Alt [gon] (\$\$\$E)
Coordonnées planes UTM (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	<input type="radio"/> Zone 31 Nord <input type="radio"/> Zone 32 Nord	Coordonnées planes UTM (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	<input type="radio"/> Zone 31 Nord <input type="radio"/> Zone 32 Nord

4. Définissez les cadres de référence source et destination pour l'altimétrie.

Système initial	Système final
Nivellement fédéral NF02 (altitudes usuelles)	Nivellement fédéral NF02 (altitudes usuelles)
Altitudes ellipsoïdiques (Bessel ou GRS80)	Altitudes ellipsoïdiques (Bessel ou GRS80)
Réseau altimétrique national RAN95 (altitudes orthométriques, CHGeo2004)	Réseau altimétrique national RAN95 (altitudes orthométriques, CHGeo2004)
Altitudes orthométriques provisoires CHGeo98	Altitudes orthométriques provisoires CHGeo98

5. Exécuter le calcul ou réinitialiser le formulaire

Avertissement: REFRAME ne peut pas toujours vérifier que les paramètres spécifiés pour la source sont corrects (MN03, coordonnées géographiques, certains formats de fichiers). Il convient donc de s'assurer de leur exactitude, sinon les résultats pourraient être erronés.

Done

Figure 9-2 : interface utilisateur du service de transformation Internet REFRAME

Le logiciel de transformation fonctionne sous MS Windows et, avec le logiciel émulateur MONO, sous Mac OS X, Linux ou Solaris. REFRAME est distribué au prix de revient et son utilisation comme géoservice sur Internet est gratuite.

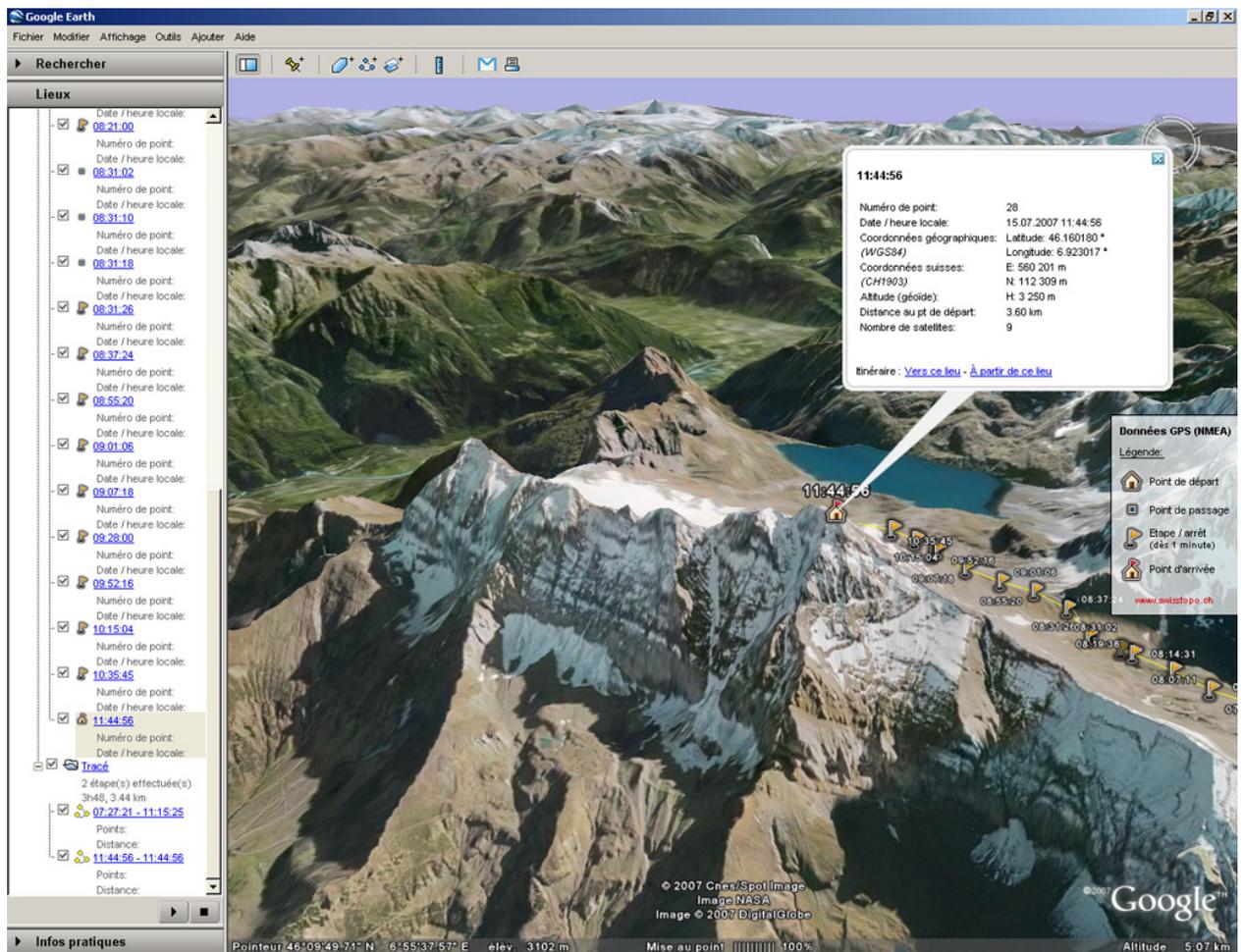


Figure 9-3 : visualisation d'une course en montagne à l'aide du géoservice REFRAME GENERATION KML et de Google Earth

9.2 Bibliothèque de programmes

swisstopo met gratuitement une bibliothèque de programmes à la disposition des développeurs de logiciels. Elle permet d'effectuer toutes les transformations de coordonnées et d'altitudes utilisées en Suisse :

- GPSREF (ETRF93 ⇔ MN95)
- FINELTRA (MN95 ⇔ MN03)
- CHGEO2004 (cotes ellipsoïdiques ⇔ RAN95)
 - requiert de disposer du jeu de données de base du géoïde pouvant être acquis auprès de swisstopo
- HTRANS (RAN95 ⇔ NF02).

La bibliothèque de programmes « REFRAME DLL » peut aisément être intégrée au sein d'applications déjà existantes (.NET, C++, Visual Basic) ou de macros disponibles (exemple : VBA). Elle peut être téléchargée depuis le site Internet de swisstopo.

10 Portail Internet dédié au changement de cadre de référence

swisstopo a mis en service un portail Internet dédié au changement de cadre de référence. Il est disponible aux adresses www.swisstopo.ch/lv95 et www.swisstopo.ch/mn95. Diverses informations relatives au nouveau cadre de référence MN95 y sont proposées, de même que le jeu de données officiel pour la transformation MN03 ⇔ MN95. Les développeurs de logiciels peuvent en outre y commander une bibliothèque de programmes (DLL) avec l'algorithme de FINELTRA et le maillage triangulaire CHENyx06 en vue d'une intégration au sein de couches métier SIG ou d'applications spécialisées.

REFRAME est par ailleurs disponible gratuitement sous forme de géoservice, avec l'intégralité de ses fonctions et en conjonction avec l'outil de génération KML. Pour des raisons de performance, seuls des fichiers d'une taille maximale de 5 Mo peuvent être transformés sur Internet. La possibilité est du reste offerte aux utilisateurs de services de positionnement tels que swipos[®] ou à toute autre personne intéressée de visualiser la précision de la transformation pour toutes les régions de Suisse à l'aide du visualiseur de données FINELTRA et de consulter les fiches signalétiques des points d'appui de la transformation.

swisstopo: Changement de cadre de référence MN03 - MN95 - Windows Internet Explorer

http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/topics/survey/iv03-iv95.html

Administration fédérale admin.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports

Office fédéral de topographie swisstopo

Page d'accueil | Carte du site | Contact | Recherche d'informations | Deutsch | Italiano | English

Actualité | **Thèmes** | Produits | Applications interactives | Documentation | Services | swisstopo

Saviez-vous, que ...

Géoinformation

Production de géodonnées

Réalisation des cartes

Noms géographiques

Mensuration / Géodésie

Systèmes de référence

Changement de cadre de référence

Informations générales

CHENyx06 / téléchargements

Services de calcul en ligne / REFRAME

Visualiseur de données FINELTRA

Géostation Zimmerwald

Méthodes de mesures

Réseaux de points géodésiques

Réseaux permanents GNSS

Frontière nationale

Positionnement (GNSS)

Foire aux questions

Géologie

Mensuration officielle

Infrastructure de géodonnées

Page d'accueil > Thèmes > Mensuration / Géodésie > Changement de cadre de référence

[Imprimer cette page](#)

Changement de cadre de référence MN03 - MN95

Informations générales

Quand les nouvelles coordonnées de la Suisse seront-elles introduites et que cela engendre-t-il ? Quelle est l'importance des erreurs entre Genève et la basse Engadine par rapport au cadre de référence MN03 actuel ? Vous trouverez ici les réponses à de nombreuses questions théoriques et pratiques.

■ [Plus d'informations](#)

CHENyx06 / Téléchargements

Swisstopo met gratuitement à disposition le maillage national des triangles CHENyx06 ainsi qu'une bibliothèque (DLL) du programme REFRAME pour les développeurs de logiciels.

■ [Téléchargements](#)

Visualiseur de données FINELTRA

Le visualiseur de données FINELTRA interactif permet d'afficher des informations détaillées sur la précision empirique de la transformation et ainsi également sur le positionnement GPS/GLONASS en MN03.

■ [Visualiseur de données FINELTRA](#)

Services en ligne / REFRAME

Le géoservice REFRAME permet d'effectuer la conversion MN03-MN95 ainsi que toutes les autres transformations utiles pour la Suisse. Il est également possible de générer des fichiers KML (WGS84) pour la visualisation dans Google Earth ou Maps.

■ [REFRAME](#)

Recherche sur swisstopo

Recherche avancée

Informations complémentaires

- [Réseaux permanents GNSS](#)
- [Positionnement \(swisspos\)](#)
- [Logiciels géodésiques](#)
- [Services de calcul online](#)
- [Service de données des points fixes FPDS](#)

Publications

- [Le cadre de référence MN95](#)
3347 Kb | PDF
- [Géomatique Suisse](#)
09/2007 | 3018 Kb | PDF

Figure 10-1 : page d'accueil du portail Internet dédié au changement de cadre de référence avec les quatre thèmes suivants :

- Informations générales
- Zone de téléchargement → CHENyx06 et DLL
- Services de transformation en ligne / REFRAME
- Visualiseur de données FINELTRA

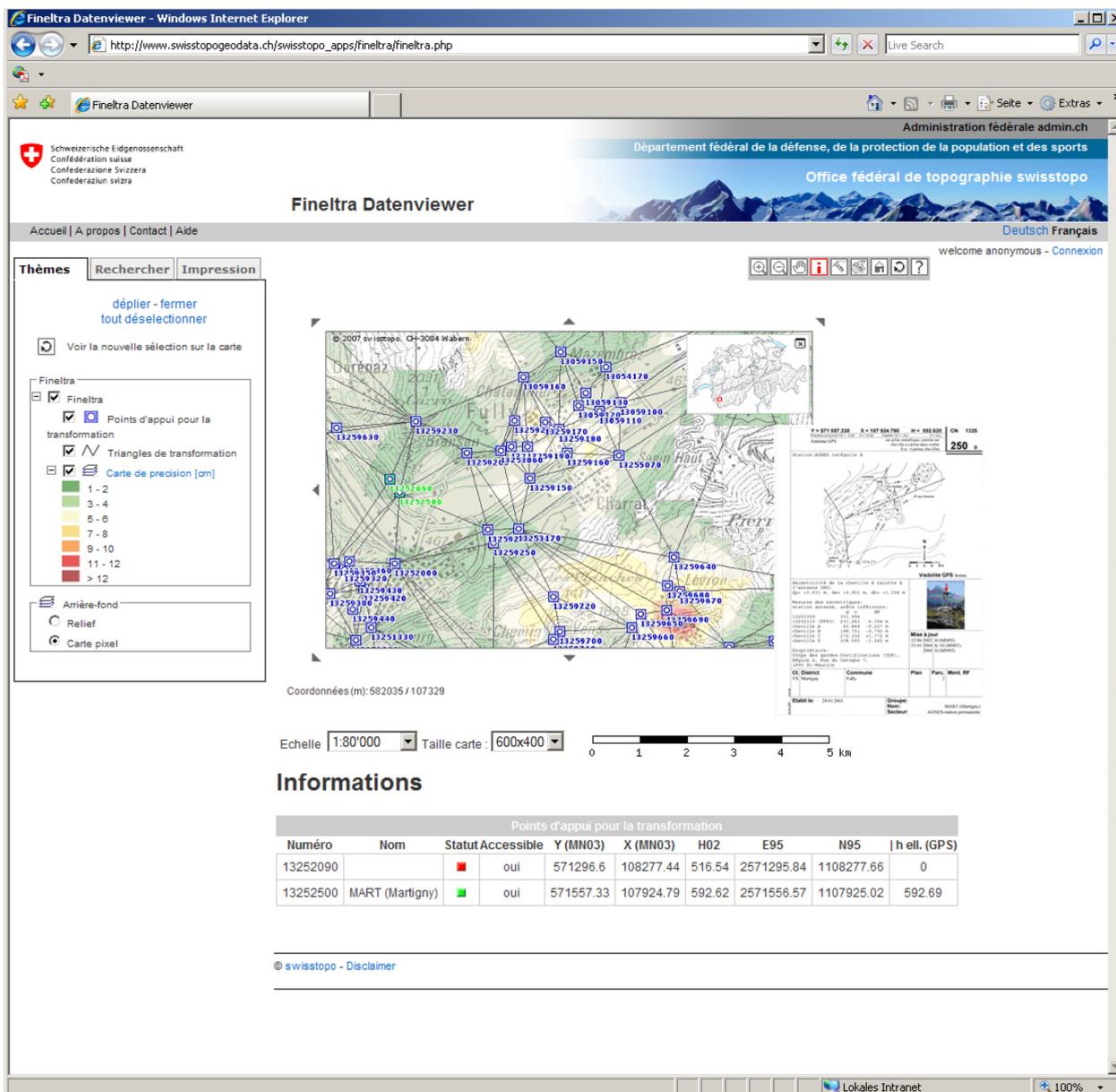


Figure 10-2 : visualiseur de données FINELTRA avec le maillage triangulaire, les points d'appui et la précision de transformation empirique dans la région de Martigny. Le service de données sur les points fixes permet d'accéder directement aux fiches signalétiques des points.

11 Importance de la base de transformation MN03 ⇔ MN95 dans le contexte d'une mensuration nationale / infrastructure nationale de données géographiques moderne

Avec l'achèvement du maillage triangulaire CHENyx06, le cadre de référence MN03 est défini, pour la toute première fois depuis sa création en 1903, non seulement de manière *relative* mais également – et implicitement – de manière *absolue* pour toute la Suisse par le biais d'une transformation rigoureuse de haute précision reliée aux systèmes de référence globaux et par suite, à ceux des pays voisins. Désormais, MN03 n'est plus uniquement défini localement par quelques repères de mensuration (ceux auxquels il a été possible de se rattacher avec un tachéomètre dans la zone concernée) mais l'est sans équivoque sur tout le territoire suisse.

Un grand nombre d'avantages en résulte en pratique, par exemple un échange de données considérablement simplifié avec les pays voisins ou la possibilité de travailler plus efficacement avec un service de positionnement comme swipos[®], sans avoir à procéder à un ajustage local. La frontière nationale de la Suisse peut par ailleurs et pour la toute première fois être définie sur la base de coordonnées (dans le cadre de référence européen ETRF93) et non plus par des descriptions au sein de documents annexés aux traités entre Etat concernés.

L'élaboration de cette base de transformation constituait la condition préalable à l'introduction par la Suisse, dans les années à venir, de son nouveau cadre de référence (absolu) MN95, à l'image d'autres pays européens. Elle disposera ainsi, à terme, d'un « fondement » moderne pour son infrastructure nationale de données géographiques. L'ordonnance sur la géoinformation prescrit le passage progressif de toutes les géodonnées de base en MN95 dans les prochaines années. Certains points particuliers sont à considérer avec attention dans ce contexte, dans l'optique d'un bénéfice maximal retiré par l'économie nationale :

- Pour le passage de géodonnées de base en MN95, l'**algorithme adéquat** est à choisir en fonction des exigences de précision et de l'étendue du territoire concerné (cf. § 6.1).
- La **période de transition à deux cadres de référence** sur la Suisse entière devrait être aussi brève que possible. Sinon, toutes les géodonnées de base devraient être stockées en MN03 et en MN95 dans la base de données ou, à défaut, transformées sans cesse d'un cadre dans l'autre, générant ainsi de fortes dépenses. Deux cadres de référence devraient par ailleurs être proposés pendant longtemps pour les services de positionnement (tels que swipos[®]) ou les services de visualisation (comme le service de données sur les points fixes), ce qui serait compliqué pour les utilisateurs et pourrait du reste entraîner des confusions. C'est pourquoi les coordonnées doivent toujours être associées sans équivoque à un cadre de référence et désignées avec toute la clarté requise.
- Une fois tous les préparatifs achevés, le **changement de cadre de référence** devrait être effectué le plus tôt possible, simultanément pour toutes les géodonnées et dans un délai assez bref. Il convient de vérifier avec soin si cette procédure ne peut pas être combinée avec d'autres travaux (comme une modification de modèle de données). On notera enfin, vu l'accroissement continu du volume de données, que plus on attend, plus la quantité de données à transformer est importante.
- Dans la mesure du possible, **les nouvelles géodonnées de base à saisir** doivent être traitées directement en MN95.

Les aspects suivants valent notamment pour les géodonnées de base auxquelles des exigences de précision élevées sont attachées :

- La base de transformation officielle CHENyx06 devrait, dans la mesure du possible, servir au **transfert des géodonnées** de l'ancien cadre de référence MN03 vers le nouveau MN95. Il s'agit du seul moyen de garantir la parfaite cohérence du passage en MN95 des données de référence de la mensuration officielle et de toutes les autres géodonnées de base et

d'exclure ce faisant toute contradiction entre jeux de données. Les interpolations et les *ajustages locaux* resteront réservés à des cas exceptionnels et à des zones clairement délimitées au sein desquelles le passage en MN95 n'atteindrait pas le niveau de précision requis sans cette procédure, du fait des déformations non homogènes qu'elles comportent. Ces zones devraient être délimitées au plus tôt sur tout le territoire suisse, en collaboration avec les organes de la mensuration officielle, puis publiées, par exemple, via le visualiseur de données FINELTRA. En effet, les données de la mensuration officielle ne conviennent que *de manière limitée* comme données de référence pour les nouvelles géodonnées de base à saisir dans ces zones, tant qu'elles n'ont pas été corrigées. Il doit pouvoir être garanti que les jeux de données se fondant sur cette base puissent être transférés ultérieurement en MN95 au moyen de la même interpolation que les données de la MO.

- Lors de la **mise à jour de géodonnées**, il n'est pas toujours possible, du fait des déformations existantes, de conserver la *précision locale en MN03* tout en répondant simultanément à l'exigence de *précision absolue en MN95*. Une distinction est à établir ici, suivant que les tolérances prescrites peuvent être respectées ou non. Dans ce dernier cas, le recours à l'ajustage local est systématique et la zone doit être délimitée pour permettre une correction ultérieure. Si les tolérances peuvent en revanche être respectées, les instances compétentes évalueront avec le plus grand soin sur place si la conservation de la précision locale (par exemple dans la couche « Biens-fonds » de la mensuration officielle) est réellement indispensable ou si les tolérances ne devraient pas plutôt être exploitées au profit de la précision absolue en MN95. Car partout où un ajustage local est entrepris en MN03, la précision locale peut certes être conservée, mais une erreur est introduite en MN95, à l'encontre du principe de hiérarchie². Le cas le plus défavorable serait enfin celui où il conviendrait de continuer à travailler localement dans bon nombre de zones après le changement de cadre de référence MN03 → MN95 en raison d'une utilisation inappropriée de l'ajustage local, conduisant alors à l'impossibilité de profiter des avantages de MN95.

² Par principe de hiérarchie, on entend le fait que les géodonnées sont saisies dans le cadre de référence officiel de la Suisse et que les exigences de précision s'appliquent toujours en référence aux points fixes de l'ordre supérieur le plus proche (points de rattachement des communes, des cantons et de la Confédération). Si des précisions absolues sont définies, elles se rapportent toujours à la mensuration nationale.

12 Bénéfices du changement de cadre de référence

La définition d'un système géodésique de référence et des cadres de référence associés revêt une importance considérable pour un Etat, puisqu'elle établit la base géométrique valant pour l'ensemble des données géoréférencées sur son territoire. Ainsi, il est tout à fait remarquable que les géodonnées de base actuelles et la majeure partie des produits qui en découlent reposent encore sur la mensuration nationale de 1903 (MN03) désormais plus que centenaire. Que de nouvelles technologies telles que la mesure électronique des distances introduite dans les années soixante du siècle passé aient mis certaines faiblesses en évidence n'a rien de surprenant, vu le rythme effréné du développement technologique. Vers la fin du 20^{ème} siècle, les méthodes satellitaires se sont imposées dans le domaine de la mensuration et dans le secteur de la navigation. Parallèlement à cela, des outils d'une dimension inédite ont été mis à disposition par l'informatique, permettant des calculs auparavant inenvisageables dans le cadre d'applications relevant de la mensuration nationale mais touchant aussi à la navigation.

Le remplacement du cadre de référence MN03 par un nouveau cadre de référence moderne et adapté aux besoins actuels est devenu indispensable, surtout pour la mensuration nationale géodésique. Sa genèse, son concept, sa planification, sa mise en oeuvre et les résultats obtenus jusqu'ici sont exposés en détail dans la série des rapports portant sur la définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse « MN95 ».

Toutes les discussions menées au sein des différents organes et groupes de travail consacrés au sujet ont abouti à la conclusion qu'un bénéfice considérable pouvait résulter du changement de cadre de référence, dans la perspective des méthodes de mesure modernes fondées sur une base de mensuration dépourvue de toute contrainte, précise et débarrassée de ses défauts antérieurs. Dans le même temps, on avait pleinement conscience des difficultés inhérentes à la modification des données existantes, disponibles en MN03, et aux réticences des exploitants de données concernés. C'est pourquoi il est si difficile de chiffrer ce bénéfice en termes concrets (coûts, valeurs quantitatives). Notons enfin qu'on ne pourra mesurer le bénéfice réel que lorsque l'utilisation du nouveau cadre de référence MN95 se sera généralisée.

Ci-dessous, diverses facettes du bénéfice inhérent au changement de cadre de référence, vues dans la perspective actuelle vont être énumérées.

- Le réseau de base de la triangulation nationale du 1^{er} au 3^{ème} ordre de 1903 de même que la définition du nivellement fédéral de 1902 ne satisfont plus aux exigences à respecter par une mensuration nationale moderne, reliée à celle des pays voisins. Le bénéfice perceptible des nouvelles œuvres de la mensuration nationale OMN95 se traduit principalement ainsi :
 - des interfaces clairement définies avec les systèmes et les cadres de référence globaux
 - des transformations de coordonnées plus précises avec les pays voisins
 - un système altimétrique rigoureux du point de vue de la théorie du potentiel
 - des possibilités de surveillance permanente des stations de référence
 - une offre de services de positionnement précis
 - une précision et une fiabilité élevées des points de référence (de niveau centimétrique)
 - une élimination des déformations et des contradictions
 - des emplacements sûrs et stables pour les points de référence, plus facilement accessibles
 - une réduction de la densité des points et une répartition homogène des points
 - une réduction des coûts d'entretien
- La mise en relation de nos données avec des systèmes de référence globaux ou avec ceux des pays voisins est simplifiée. Des effets positifs en découlent surtout pour le traitement de projets transfrontaliers comme le SIG de la frontière nationale (GIS-LG), le réseau ferroviaire et routier européen, le portail du lac de Constance ou pour de grands projets nationaux tels qu'Alptransit, l'établissement des bases pour la construction de tunnels, l'extension des réseaux de distribution d'électricité, la société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (NAGRA), etc.

- Les méthodes de mesure modernes peuvent être mises en œuvre simplement et avec efficacité. Divers calculs sont ainsi rationalisés ou deviennent superflus.
- Le bénéfice inhérent à une mensuration nationale moderne est notamment mis en lumière par le réseau GNSS automatique de la Suisse (AGNES) et le service de positionnement swipos[®] qui lui est étroitement associé. Les demandes des exploitants de données portent entre autres sur une acquisition efficace des données et une simplification de la navigation. Le service de positionnement en temps réel permet de couvrir de tels besoins de manière extrêmement efficace. swipos[®] est disponible en permanence, sur l'intégralité du territoire. Ce géoservice fait l'objet d'un contrôle continu via les stations AGNES et d'une surveillance étroite, raison pour laquelle il est précis, fiable et rationnel. Cette forme de positionnement en temps réel ne constitue pas uniquement un progrès bienvenu pour la saisie classique de données, mais gagnera aussi en importance pour les géoservices de surveillance (auscultation permanente d'ouvrages ou glissements de terrain). Les bases utilisées à cette fin reposent toutes sur le cadre de référence MN95.
- L'intégration de données géoréférencées d'origines très diverses est simplifiée du fait du référencement homogène et « absolu » (libéré de tout ajustage local). Dans les zones couvertes par des réseaux de points fixes répartis de façon homogène, à détermination de points et les rétablissements peuvent se référer à des points fixes quelconques, plus éloignés, sans que la précision relative s'en trouve affectée. Cet aspect revêt une importance particulière (cf. chapitre 11) du fait de l'intégration prévue de différents jeux de données dans l'infrastructure nationale de données géographiques (INDG).
- FINELTRA et le jeu de données de transformation national CHENyx06 constituent un outil garantissant une conversion bijective entre MN03 et MN95 sur tout le territoire suisse. Ainsi est-il possible de convertir et d'échanger des données géoréférencées entre les deux cadres de référence simplement et à tout moment. CHENyx06 et les produits dérivés qui en découlent (comme les outils SCSP, SGF, DLL, NTV2, etc.) ainsi que diverses solutions destinées à la gestion des données tramées permettent dès aujourd'hui de traiter tous les types de données numériques dans l'optique du changement de cadre de référence. Par conséquent, ce processus peut être étalé dans le temps et se poursuivre en continu jusqu'à l'échéance fixée par la loi (en 2020). Les prescriptions figurant dans la stratégie de la mensuration officielle pourront ainsi être satisfaites. C'est en outre un jeu de données officiel et homogène qui est à disposition avec CHENyx06, utilisable pour toutes les applications des domaines de la mensuration, des SIG ou de la navigation et fournissant des solutions uniques en MN95.
- Des canevas de points de rattachement pratiquement exempts de contraintes facilitent considérablement les travaux de mise à jour de l'ensemble des couches d'information de la mensuration officielle, contribuant notablement à réduire les sources d'erreurs possibles et les frais inhérents à l'établissement, à la mise à jour et à l'entretien des entreprises de mensuration.
- Les utilisateurs généraux des œuvres cadastrales (tels que swisscom, les CFF, les producteurs d'électricité, les secteurs du bâtiment, de l'aménagement du territoire ou des cadastres des conduites) n'ont généralement pas conscience du cadre de référence dans lequel ils travaillent. Cependant, ils opteront toujours pour la méthode d'acquisition de données la plus favorable. Ainsi, l'intégration de ces données dans la mensuration officielle sera grandement facilitée si toutes se fondent sur un même cadre de référence, homogène et dépourvu de contraintes.
- Le choix d'emplacements stables, expertisés (du point de vue géologique) et surveillés pour les stations de référence (AGNES) et les autres points de référence (points MN95) fait que ces points sont particulièrement adaptés pour des études tectoniques et d'autres investigations à caractère scientifique. Un modèle cinématique de la Suisse présentant une grande cohérence interne peut enfin être formé à partir des mesures réalisées à intervalles

réguliers par swisstopo ainsi que des résultats obtenus par les stations AGNES en fonctionnement continu.

Bien que le bénéfice inhérent au changement de cadre de référence (passage à MN95 à promouvoir) n'apparaisse peut-être pas encore aussi nettement à tous les exploitants de données, le transfert des données de la mensuration officielle en MN95, engagé conformément à la LGéo et à l'OGéo, entraînera vraisemblablement une perte d'influence de l'ancien cadre de référence MN03 à moyen terme. Ce faisant, les autres utilisateurs en viendront donc progressivement à référencer leurs données dans le nouveau cadre de référence MN95.

13 Conclusions

Avec la nouvelle mensuration nationale MN95 et le jeu de données associé CHENyx06, par lequel un lien très précis est établi avec la mensuration nationale existante MN03, c'est une étape assurément historique que la Suisse a franchie pour sa mensuration nationale et sa mensuration officielle. Si le nouveau cadre de référence MN95 ne constitue pas encore la base de mensuration officielle, sa phase de préparation technique et juridique peut toutefois être considérée comme étant achevée.

Des professionnels des horizons les plus divers de la géomatique ont contribué à cet intense travail de fond qui a débouché, au final, sur la création d'une œuvre d'une grande portée, reposant sur un large consensus et s'inscrivant dans la durée. De précieuses expériences ont également pu être acquises au cours de ces années, et les questions encore en suspens pourront tirer profit. Les services cantonaux spécialisés ont notamment apporté une contribution déterminante dans la conception de CHENyx06 et au remarquable niveau de qualité atteint par le changement de cadre de référence. Un outil important est ainsi disponible, en tout cas pour la mensuration officielle. Les géodonnées de base se fondant pour l'essentiel sur les données de la MO, cette qualité se répercute aussi sur toutes les autres données, ce qui constituait en fait l'un des objectifs initiaux du concept MN95.

Il convient de rappeler également les contributions tout aussi importantes fournies par les écoles polytechniques et les hautes écoles spécialisées qui, par leurs conseils toujours avisés et par les travaux aussi nombreux que riches d'enseignements qu'elles ont produit sous la forme de mémoires de diplôme ou d'autres études effectuées dans des zones de test, ont permis d'acquérir de précieuses expériences et de délivrer des indications judicieuses. Cette implication des écoles a du reste permis de sensibiliser la relève au changement de cadre de référence à venir. Dans cette perspective aussi, CHENyx06 peut être considéré comme un exemple de collaboration fructueuse.

Les aspects techniques ne doivent pas occulter la nouvelle base légale créée avec l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur la géoinformation (LGéo). Dans ce cadre également, un énorme travail a été accompli dans un délai approprié par les différents groupes de travail paritaires sous la direction de swisstopo. On peut le considérer comme le « travail du siècle ». Le fondement juridique d'une infrastructure de données répondant aux exigences actuelles et de manière durable dans la perspective actuelle, a ainsi été créé.

En revanche, la conservation de l'« ancien » cadre de référence altimétrique NF02 à la place du nouveau RAN95 ne correspond pas vraiment aux objectifs initiaux de MN95. Cette question a elle aussi fait l'objet d'analyses approfondies au sein de cercles très larges. La majorité des décideurs craignait cependant un risque trop élevé de confusions face à un volume de données aux contours exacts difficiles à maîtriser. La direction de swisstopo a par conséquent prolongé officiellement la validité du cadre de référence altimétrique NF02 le 30 avril 2002, cent ans exactement après son introduction. RAN95 est cependant à disposition au titre de base importante pour les applications relevant de la mensuration nationale géodésique. La conservation de NF02 comme cadre de référence altimétrique officiel a pour inconvénient majeur que les méthodes tridimensionnelles de détermination de points présentant une bonne précision et une grande cohérence internes, comme par exemple les méthodes satellitaires, ne fournissent que des altitudes approchées après la transformation approximative par *HTRANS* et nécessitant systématiquement une adaptation locale dès lors que les exigences de précision sont plus élevées.

Le thème du changement de cadre de référence est bien évidemment accessible via les portails Internet *swisstopo.ch* et *cadastre.ch*. Certains services cantonaux du cadastre proposent également des sites Internet à ce sujet. Les informations, les services et les explications à ce propos sont donc accessibles gratuitement pour tous les acteurs et les personnes intéressées. On peut espérer un certain échange d'informations grâce à cette prestation de service offerte sur Internet, tout en sachant qu'il sera largement insuffisant. En effet, l'immense majorité des

utilisateurs de géodonnées n'a pas même conscience de la problématique liée au changement de cadre de référence ou ne souhaite pas devoir s'y consacrer. Un gros déficit est donc à combler ici. Tous les professionnels de la géomatique de même que les exploitants de SIG doivent au moins y être sensibilisés dans les prochains temps, au moyen de campagnes d'information ciblées les informant par ailleurs sur les conséquences en découlant. Il convient de ne pas sous-estimer ici l'ampleur des efforts à déployer pour convaincre un public très large.

Bien qu'un grand pas ait été accompli avec FINELTRA et CHENyx06 en direction de l'avènement de MN95 comme cadre de référence officiel, certains objectifs n'ont pas encore été atteints. Les points encore en suspens et la suite de la procédure vont brièvement être abordés au chapitre suivant. L'objectif à long terme ne sera atteint que lorsque toutes les géodonnées de base auront été transférées en MN95. Les outils nécessaires à l'accomplissement de cette tâche sont désormais disponibles. De ce point de vue, la première étape, qui n'est pas dénuée d'importance, peut être considérée comme franchie.

14 Perspectives

L'article 53, alinéa 2 de l'ordonnance sur la géoinformation (OGéo) prévoit que la conversion en CH1903+/MN95 des données de référence doit intervenir avant le 31 décembre 2016, celle des géodonnées de base relevant du droit fédéral devant être effectuée avant le 31 décembre 2020. Cet objectif paraît encore bien lointain aujourd'hui et donc tout à fait réalisable. Il convient cependant de s'y consacrer intensément et sans tarder car à l'heure actuelle, c.-à-d. sept et onze ans avant les échéances prévues, le nouveau cadre de référence MN95 est encore bien loin des préoccupations de la plupart des utilisateurs de géodonnées en général.

Comme il en a été fait état au chapitre précédent, un concept d'information et de communication complet doit être élaboré. Il semble par ailleurs opportun de reconsidérer la procédure concrète à suivre pour la mise en œuvre, à l'aide de nouveaux projets pilotes appropriés ou sur la base de zones au sein desquelles MN95 a déjà été introduit (le canton du Valais par exemple). La formation des personnels concernés ne doit pas être en reste. A cette fin, la direction de swisstopo a donné mandat à la D+M d'élaborer un projet succédant à l'« Adaptation de la MO au cadre de référence MN95 » en y intégrant les domaines Géodésie et COSIG. Toutefois, il ne couvrira concrètement que les données de la MO. Les autres services de la Confédération, les services spécialisés SIG des cantons et d'autres producteurs de géodonnées importants doivent également être impliqués et soutenus. Dans ce but, une action a été lancée par *e-geo.ch* et un projet initié par swisstopo.

Tout comme au niveau fédéral, des bases organisationnelles et légales sont également à élaborer au **niveau cantonal**. Cette remarque vaut aussi pour les concepts de communication et d'information. Cela suppose en retour un soutien financier de la part de la Confédération doublé d'une assistance en matière d'information et de rédaction des textes législatifs. On veillera notamment à ne pas sous-estimer le volet politique car un changement de cadre de référence requiert entre autre un arrêté du Conseil d'Etat voire une adaptation des ordonnances cantonales, ce qui nécessite un gros travail d'information et une grande force de conviction.

Le nombre de données à transformer est immense et ne cesse d'augmenter. Ces données sont gérées et mises à jour au sein d'un large éventail d'administrations, d'entreprises, de bureaux et même de secteurs. Un nouveau défi, à ne pas sous-estimer, est ainsi à relever par les organes de coordination SIG. Des prescriptions et des directives seront à élaborer en conséquence.

Considéré dans la perspective actuelle, le changement de cadre de référence semble être la voie adéquate et sensée pour l'avenir. Toutefois, de nouveaux bouleversements technologiques se succéderont encore à un rythme soutenu d'ici à la mise en œuvre du changement de cadre de référence en 2016/2020 de sorte que les points suivants, susceptibles d'influer sur la gestion de géodonnées, ne peuvent assurément pas être occultés :

- applications en ligne et télécommunication
- progrès dans le domaine de la navigation
- évolution de la géodésie par satellites
- extension des services web
- utilisation accrue de méthodes de mesure en 3D et de jeux de données 3D
- balayage laser (laserscanning)
- avenir des réseaux altimétriques et des déterminations du réseau gravimétrique (exemples : géoïde, nivellement GPS)
- géodynamique et aspects cinématiques (époques de mesure CHTRFyy supplémentaires)
- problématique des corrections locales dans la MO
- etc.

L'évolution technique ne peut pas être arrêtée, de sorte qu'il ne sera pas possible d'affirmer avec certitude que l'objectif visé est atteint. Une étape décisive dans cette phase du changement de cadre de référence a cependant pu être menée à son terme. Les bases

techniques sont prêtes. Nous sommes donc convaincus d'avoir choisi le bon chemin dans la perspective d'une assise moderne et durable offerte aux géodonnées de base dans le cadre de l'INDG et de pouvoir ainsi envisager d'autres objectifs avec confiance.

Bibliographie

Abréviations utilisées :

CGS	Commission géodésique suisse
D+M	Direction fédérale des mensurations cadastrales
IGP	Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'EPF Zurich (à ne pas confondre avec l' <i>International Geodynamics Project</i>)
L+T	Office fédéral de topographie (publications antérieures à 2002)
MPG	Mensuration, photogrammétrie, génie rural (revue spécialisée suisse rebaptisée « Géomatique Suisse »)
SCC	Service cantonal du cadastre
swisstopo	Office fédéral de topographie (publications postérieures à 2002)

AGIS (2001) : Benutzer-Handbuch LV95-Dreiecksvermaschung. *ArcView – extension du service spécialisé AGIS, canton d'Argovie ; GeoWerkstatt Stefan Kiener, Berne, décembre 2001.*

Ammann R, Carosio A., Dupraz H., Durussel R., Jolidon A., Just Ch., Schneider D., Ulrich W. et Vogel B. (1996) : Incidence de la nouvelle mensuration nationale 95 sur la mensuration officielle. *Rapport final du groupe de travail MO/MN95, version d'août 1996, Direction fédérale des mensurations cadastrales / Office fédéral de topographie, Wabern.*

Brühlmann Ph. (2004) : Nichtparametrische Regression und Schollendetektierung. *Travail de diplôme réalisé à la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW), Muttenz.*

Carosio A., Durussel R., Just Ch., Naepflin G. et Vogel B. (1997) : Transformation entre les cadres de référence MN03 et MN95, projet « Transformation par éléments finis – Test de Zoug ». *Rapport du sous-groupe MO/MN95 publié en février 1997, D+M, S+T, SCCZG et IGP-EPFZ.*

Chablais H., Signer Th., Vogel B. (1995) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'MN95'. Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93'. *Berichte aus der L+T n°9, Office fédéral de topographie, Wabern.*

Hägler H., Egli P. et Aebi U. (2003) : Pilotprojekt für die Transformation von Datensätzen aus dem Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95. *Rapport technique BL, Office des mensurations et des améliorations foncières BL, Liestal.*

Kistler M. (2006) : Generierung der schweizweiten Dreiecksvermaschung Stufe AV. *Mode d'emploi de l'outil FINELTRA2ARCGIS du 19 avril 2006, Centre opérationnel DG/MN95, swisstopo, Wabern.*

Kistler M, Papafitsoru A. et Burkard M. (2007) : Nationale Dreiecksvermaschung CHENyx06, *Exposé à l'occasion du colloque swisstopo du 26 janvier 2007 à Wabern.*

Kistler M., Ray J (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz: Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung, neue Transformationssoftware REFRAME und Eröffnung des Internet-Portals "Bezugsrahmenwechsel". *Geomatik Schweiz 9/2007.*

CSCC (2009) : Utilisation de GNSS pour la détermination de points de détail en mensuration officielle. *Directive de la Conférence des services cantonaux du cadastre (CSCC) du 3 juin 2009.*

- Marti U. (2001) : Länderspezifisches Koordinatensystem LSKS: Untersuchungen zur Modellierung der Verzerrungen der Landesvermessung LV03 und Vergleich mit FINELTRA. *Rapport technique n°01-28, 2001, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Marti U., Schlatter A. (2002): Höhenreferenzsysteme und -rahmen. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Marti U., Schlatter A. (2002): Neues Landeshöhenetz der Schweiz. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Marti U. (2002) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 "CHGEO98". *swisstopo Doku 16, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Marti U. (2007) : LSKS 2007: Untersuchung zur Verwendbarkeit der Dreiecksvermaschung Stufe AV (CHENyx06) in Form eines regelmässigen Gitters. *swisstopo Report n°07-04, mai 2007, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Marti U. (2008a) : Transformation von Rasterdaten: Wechsel des Bezugsrahmens von LV95 auf LV03 bei Rasterdaten. *swisstopo Report n°08-18, juillet 2008, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Marti U. (2008b) : Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95: Erzeugung einer NTV2-Datei als Näherungslösung für den Bezugsrahmenwechsel. *swisstopo Report n°08-20, juillet 2008, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Meier W., Bader A., Kunz O., Liechti H.U. et Rolli S. (2003) : Pilotprojekt für die Transformation von Datensätzen aus dem Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95. *Rapport technique BS, service du registre foncier et des mensurations cadastrales BS, Bâle.*
- Nebiker St., Sievers B. et Bleisch S. (2002) : Transformation de données raster avec des éléments finis. *Mandat d'étude du CC DG/MN95, Haute école spécialisée des deux Bâle (FHBB), 14 mai 2002, Muttenz.*
- Santschi W., B. Vogel, Th. Signer und D. Gutknecht (1998): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 5: GPS Landesnetz: Netzanlage, Materialisierung, Dokumentation und Nachführung. *Berichte aus der L+T Nr. 11, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Schlatter A. (2006) : Das neue Landeshöhenetz der Schweiz LHN95. *Thèse de doctorat EPF n°16840, Zurich.*
- Schlatter A. et Marti U. (2007) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 12: Landeshöhenetz 'LHN95': Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement 'LN02'. *swisstopo Doku 20, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Schneider D., E. Gubler et A. Wiget (1995a) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 1: Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung. *Berichte aus der L+T n°6, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Schneider D., E. Gubler, U. Marti et W. Gurtner (1995b, édition de 2001) : Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95'. 3^{ème} partie : systèmes et cadres de référence terrestres. *Berichte aus der L+T n°8, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Schneider D. (2006) : Réalisation de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95': développement, état et perspectives. *Exposé à l'occasion du colloque swisstopo du 3 juin 2006 à Wabern.*

- Signer Th. et Vogel B. (1999) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung, Transformation 'LV95 \leftrightarrow LV03'. *Berichte aus der L+T n°15, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Signer Th. et Vogel B. (2001) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 8: Gesamtausgleichung des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA95'. *Berichte aus der L+T n°14, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Signer Th. (2002): Landesvermessung LV95: Übersicht und Stand des Projektes. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- swisstopo (1992) : Neues LFP1-Netz im Kanton Schaffhausen, 1988 – 1990. *Rapport d'entreprise sur le renouvellement de la triangulation de 3^{ème} ordre, canton SH, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2000) : Instructions concernant l'établissement des triangles de transformation des cantons. *Publication pour la MO, décembre 2000, CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2002) : Résolution du problème de l'écart à la frontière vaudoise-genevoise. *Solution proposée le 27 février 2002 par le CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2004a) : Notice pour les déterminations altimétriques avec GPS dans la mensuration officielle. *Publication pour la MO du 18 février 2004, CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2004b) : Transformation MN03 \leftrightarrow MN95 de la frontière Vaud – Genève : Test de la solution retenue – Vérification, *Rapport de vérification Vaud / Genève du 19 mai 2004, CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2004c) : Instructions techniques pour l'établissement du maillage triangulaire. *Publication pour la MO, juin 2004, CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2004d) : Recommandations portant sur les exigences de qualité applicables à l'établissement du maillage triangulaire par les cantons. *Publication pour la MO, avril 2004, CC DG/MN95, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2005) : Directives pour la détermination des points fixes de la mensuration officielle. *Novembre 2005, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2007) : Adaptation de la mensuration officielle au cadre de référence de la mensuration nationale 1995 (MN95). *Concept de la Direction fédérale des mensurations cadastrales du 8 juin 2007, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2008a) : Rapport final du projet CC DG/MN95 du 4 avril 2008, *Office fédéral de topographie, Wabern.*
- swisstopo (2008b) : Guide pour l'application des transformations géométriques en mensuration officielle. *Direction fédérale des mensurations cadastrales, 1^{er} novembre 2008, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Tognacca Ch. (1995) : Auswirkungen der LV95 auf die amtliche Vermessung. *Erste praktische Untersuchungen, Rapport 251 de l'IGP de l'EPF Zurich.*
- D+M (1998) : Conséquences de la nouvelle mensuration nationale MN95 sur les données géographiques (DG/MN95) : Projet de détail. *Rapport adopté par le comité de pilotage le 31 mars 1998.*

- Vogel B., Wiget A., Signer Th., D. Gutknecht et W. Santschi (1997) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94. *Berichte aus der L+T n°12, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Wicki F. (2002): Landesvermessung LV95: Konsequenzen für die amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Wicki F., Th. Signer, W. Messmer, R. Ammann, R. Durussel et H. Thalmann (2002) : Das Höhensystem für die amtliche Vermessung und weitere Raum bezogene Daten. *MPG 08/02.*
- Wiget A., Th. Signer, B. Vogel et U. Wild (2003) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'MN95'. *Swisstopo Doku 12, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Wiget A., A. Schlatter, E. Brockmann et D. Ineichen (2005) : GPS-Netz NEOTEKTONIK Nord-schweiz 2004: Messkampagne 2004 im Auftrag der Nagra kombiniert mit der Messkampagne CHTRF2004 im GPS-Landesnetz MN95. *swisstopo Report 04-40 ©. Version révisée : swisstopo Report 07-03 ©.*
- Wild U. und W. Gurtner (1995): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb. *Berichte aus der L+T Nr. 7, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Wild U., S. Grünig et R. Hug (2006) : Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste. *Swisstopo Doku 19, Office fédéral de topographie, Wabern.*
- Zölly H. (1948) : Geschichte der Geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessung in der Schweiz. *Section topographie du Département militaire fédéral, Wabern.*

Liste des abréviations

AdV	Groupe de travail rassemblant les administrations des mensurations des Länder de la République fédérale d'Allemagne (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland)
AGNES	Réseau GNSS automatique de la Suisse (Automatisches GNSS-Netz Schweiz)
AMO	Administration de la mensuration officielle
CC DG/MN95	Centre de compétence DG/MN95 : groupe de projet chargé de préparer la faisabilité du changement de cadre de référence afin d'assurer la disponibilité des géodonnées dans les deux cadres de référence pour la MO (2000-08)
CGS	Commission géodésique suisse (organe de la Société helvétique des sciences naturelles, aujourd'hui Académie suisse des sciences naturelles).
CHENyx06	Jeu de données de transformation national associé à FINELTRA pour le changement de cadre de référence MN03 ↔ MN95
CHGeo98	Modèle de géoïde de la Suisse 1998 (premier géoïde « Marti »), remplacé en 2005 par le modèle de géoïde CHGeo2004
CHGeo2004	Nouveau modèle de géoïde de la Suisse CHGeo2004 (deuxième géoïde « Marti »). Il forme le cadre altimétrique cohérent de la nouvelle mensuration nationale MN95 en conjonction avec les altitudes RAN95 et les cotes ellipsoïdiques MN95.
CHTRFyy	Swiss Terrestrial Reference Frame : cadre de référence de la mensuration nationale 1995 au positionnement global (cadre en 3D de l'époque/de l'année yy)
CHTRF95	Swiss Terrestrial Reference Frame 1995, réalisation de → CHTRS95 à l'époque 1993.0
CHTRF04	Swiss Terrestrial Reference Frame 2004 : Cadre de référence issu de la compensation globale de toutes les mesures GPS effectuées entre 1988 et 2004 dans le réseau GPS MN95 de la Suisse. Base des cotes ellipsoïdiques de la nouvelle mensuration nationale MN95 et du cadre altimétrique cohérent RAN95.
CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995 : Système de référence global de la mensuration nationale 1995 ; coïncide avec ETRS89 à la date 1993.0
CHVRFyy	Swiss Vertical Reference Frame : Cadre de référence altimétrique de la mensuration nationale 1995 au positionnement global (cadre altimétrique de l'année yy)
CH1903	Système de référence de l'ancienne mensuration nationale 1903 : Ancien système de référence défini en 1903, encore officiel dans la MO.
CH1903+	Système de référence de la nouvelle mensuration nationale 1995 : Nouveau système de référence de la mensuration nationale 1995 au positionnement local qui sera introduit à l'avenir comme base pour l'INDG en général et la MO en particulier. Il utilise les mêmes dimensions d'ellipsoïde (Bessel 1841) et le même système de projection cartographique que CH1903.
CN	Carte nationale (cartes nationales officielles de la Suisse)
COSIG	Coordination, Services et Informations Géographiques
CO DG/MN95	Centre opérationnel du CC DG/MN95
DDPS	Département fédéral de la Défense, Protection de la population et Sports
DG	Données géographiques
DG/MN95	Groupe de projet qui s'est principalement consacré, entre 1996 et 1998, aux aspects financier, organisationnel, juridique et chronologique du changement de cadre de référence MN03 ↔ MN95.
DLL	Dynamic Link Library (bibliothèque de liens dynamiques) Composantes de programmes pouvant être appelées par des programmes de rang

	supérieur et chargées au besoin dans la mémoire principale de l'ordinateur.
EPFZ	Ecole polytechnique fédérale de Zurich
ETRFyy	European Terrestrial Reference Frame (cadre de l'année yy)
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	IAG Subcommission for Continental Networks for Europe
EUVN	European Vertical Network
EVS2000	European Vertical System 2000
FINELTRA	Logiciel de transformation par la méthode des éléments finis
FPDS	Service de données sur les points fixes (Fixpunkt-Datenservice), géoservice de swisstopo/Géodésie
GGL-EPFZ	Laboratoire de géodésie et de géodynamique de l'Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'EPF Zurich
GLONASS	Système russe de navigation par satellites (GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
GNSS	Global Navigation Satellite System : Expression générique pour les systèmes de radio-navigation par satellites existants (GPS, GLONASS) et à venir (GALILEO).
GPS	Système de navigation par satellites des Etats-Unis (Global Positioning System)
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HTRANS	Logiciel de transformation de cotes orthométriques (RAN95) en altitudes usuelles (NF02) et vice versa
IGP-EPFZ	Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich
INDG	Infrastructure Nationale des Données Géographiques
ITRFyy	International Terrestrial Reference Frame (cadre de l'année yy)
ITRS	International Terrestrial Reference System
LGéo	Loi fédérale sur la géoinformation
LTOP	Logiciel de compensation de réseau de swisstopo pour les mesures classiques et GPS (cf. [Gubler 2002])
L+T	Office fédéral de topographie (jusqu'en 2002)
MN03	Cadre de référence planimétrique 1903 de la mensuration nationale de la Suisse : réalisation du système de référence CH1903.
MN95	Cadre de référence 3D de la mensuration nationale 1995 au positionnement local : réalisation du système de référence CH1903+. Cette abréviation sert également à désigner le projet de la mensuration nationale 1995 dans le titre <i>Nouvelle mensuration nationale de la Suisse ,MN95'</i> .
MO	Mensuration officielle
MO/MN95	Groupe de travail qui s'est consacré de 1993 à 1996 aux incidences de la MO sur un changement de cadre de référence MN03 ↔ MN95
NdP	Nivellement de précision des années 1864 – 1891 de la CGS ; premier nivellement de précision de la Suisse
NF	Nivellement fédéral, dorénavant plutôt Réseau altimétrique national (cf. RAN)
NF02	Nivellement fédéral/réseau altimétrique national 1902 (désignation du système altimétrique et du cadre de référence des altitudes usuelles en Suisse)
NTv2	National Transform, Version 2 : Format standard du service géodésique canadien accepté par de nombreux SIG et destiné à la mémorisation de différences de coordonnées entre deux cadres de référence sous la forme d'une grille régulière.
OFEG	Office fédéral des eaux et de la géologie (depuis fin 2005 : OFEV, Office fédéral de

	l'environnement)
OMN95	Œuvres de la mensuration nationale de 1995
OTEMO	Ordonnance technique sur la mensuration officielle ; elle régit entre autres les exigences de précision et de fiabilité applicables aux points fixes de la MO.
PAT	Point d'appui de la transformation
PC	Point de contrôle servant à évaluer la qualité du maillage triangulaire
PFA	Point fixe altimétrique ; PFA1 = de 1 ^{er} ordre, PFA2 = de 2 ^{ème} ordre, etc.
PFP	Point fixe planimétrique de la mensuration officielle (selon l'OTEMO)
PFP1-3	PFP de 1 ^{er} – 3 ^{ème} ordre ; de 1 ^{er} ordre : points de la mensuration nationale, de 3 ^{ème} ordre : points fixes planimétriques communaux.
ppm	Parties par million
RAN	Réseau altimétrique national, désignation générale du cadre altimétrique réalisé à l'aide de points fixes. Cette désignation remplacera progressivement celle de nivellement fédéral (NF) un cadre altimétrique moderne n'étant pas uniquement défini par des mesures de nivellement.
RAN95	Cadre de référence altimétrique cohérent de la mensuration nationale 1995 au positionnement local. Cette abréviation sert également à désigner le projet d'établissement du nouveau cadre de référence altimétrique (sur le modèle de la désignation <i>MN95</i>) dans le titre <i>Nouveau réseau altimétrique national de la Suisse 'RAN95'</i> .
RCM	Recent Crustal Movements
REFRAME	Logiciel de swisstopo destiné aux calculs de transformation
Réseau GLG	Réseau altimétrique combiné (<u>G</u> PS, <u>L</u> evelling (nivellement), <u>G</u> éoïde)
RPN	Repère <i>Pierre du Niton</i> (ancien point fondamental pour les altitudes NF02)
RTK	Real Time Kinematic : Méthode de mesure GNSS reposant sur le traitement différentiel de mesures de phase de la porteuse en temps réel avec une précision centimétrique.
SCSP	Système de coordonnées spécifique à un pays (grille de la société Leica)
SGF	Shift Grid File (fichier grille des déplacements de la société Trimble)
swipos [®]	Swiss Positioning Service : Service de positionnement DGPS de swisstopo sur la base d'AGNES
swisstopo	Office fédéral de topographie (depuis 2002)
VRS	Virtual Reference Station : Méthode d'interpolation de mesures à partir des données d'un réseau de stations de référence GNSS pour en déduire la position actuelle de l'utilisateur.
WGS84	World Geodetic System 1984
Z ₀	Nouveau point fondamental de Zimmerwald (Géostation/observatoire de l'Institut astronomique de l'université de Berne).

Série des rapports relatifs à la nouvelle mensuration nationale MN95

Berichte aus der L+T (jusqu'en 2002) / swisstopo Doku Série MN95		
N°	Titre (auteurs)	Edition
6	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 1: Vorgeschichte, Entstehung des Projekts, Konzept und Planung (D. Schneider, E. Gubler und A. Wiget)	1996
7	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb (U. Wild und W. Gurtner)	1995
8	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner)	2001
8 f	Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95': 3^{ème} partie : systèmes et cadres de référence terrestres (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti et W. Gurtner, traduit par H. Dupraz)	2001
9	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93' (H. Chablais, Th. Signer und B. Vogel)	1995
11	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 5: GPS-Landesnetz: Netzanlage, Kennzeichnung, Dokumentation und Nachführung (W. Santschi, B. Vogel, Th. Signer und D. Gutknecht)	1998
12	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94 (B. Vogel, A. Wiget, Th. Signer, D. Gutknecht und W. Santschi)	1997
13	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95' (A. Wiget, U. Wild, Th. Signer und B. Vogel)	2003
14	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 8: Gesamtausgleichungen des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA95' (Th. Signer und B. Vogel)	2001
15	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung. Transformation 'LV95 <-> LV03' (Th. Signer und B. Vogel)	1999
16	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 (U. Marti)	2003
19	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste (U. Wild, S. Grünig und R. Hug)	2006
20	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 12: Landeshöhennetz 'LHN95': Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement 'LN02' (A. Schlatter et U. Marti)	2007
21	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 13: Einführung des Bezugsrahmens 'LV95' in die Nationale Geodateninfrastruktur (B. Vogel, M. Burkard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter et A. Wiget)	2009
21f	Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95': 13^{ème} partie : introduction du cadre de référence 'MN95' dans l'infrastructure nationale de données géographiques (B. Vogel, M. Burkard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter et A. Wiget)	2009